



TUGAS AKHIR - TE 141599

***ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM  
KELISTRIKAN DI PT WILMAR NABATI INDONESIA - GRESIK,  
SETELAH PENGOPERASIAN POWER PLANT 2 (PLTG 13  
MW), PLTG 2 x 6.4 MW, DIESEL ENGINE GENERATOR 3&4  
(2x1.6 MW) DAN PENINGKATAN KONTRAK DAYA PLN 25  
MVA***

Fahmi Rusdi  
NRP 2211 106 020

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. H. Ontoeseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Ir. Sjamsul Anam, M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



*FINAL PROJECT - 141599*

***PROTECTION COORDINATION ANALYSIS ON THE ELECTRICAL SYSTEM IN PT. WILMAR NABATI INDONESIA - GRESIK, AFTER OPERATION POWER PLANT 2 (13 MW), PLTG 2 x 6.4 MW, DIESEL ENGINE GENERATOR 3 & 4 (2x1.6 MW) AND STEP UP A CONTRACT POWER OF PLN 25 MVA***

Fahmi Rusdi  
NRP 2211 106 020

*Advisor*

Prof. Ir. H. Ontoeseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Ir. Sjamsul Anam, M.T.

*DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016*

**ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM  
KELISTRIKAN DI PT WILMAR NABATI INDONESIA –  
GRESIK, SETELAH PENGOPERASIAN POWER PLANT 2  
(PLTG 13 MW), PLTG 2 X 6,4 MW, DIESEL ENGINE  
GENERATOR 3&4 (2 X 1,6 MW) DAN PENINGKATAN  
KONTRAK DAYA PLN 25 MVA**

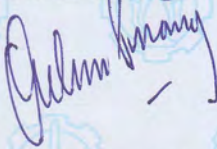
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

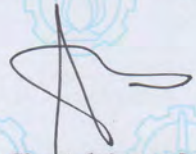
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Prof. Ir. H. Ontoeseno Penangsang, M.Sc, Ph.D**  
**NIP. 1949 07 15 1974 12 1001**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Sjamsul Anam, MT**  
**NIP. 1963 07 25 1990 03 1002**



**ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM  
KELISTRIKAN DI PT WILMAR NABATI INDONESIA –  
GRESIK, SETELAH PENGOPERASIAN POWER PLANT 2  
(PLTG 13MW), PLTG 2 X 6,4 MW, DIESEL ENGINE  
GENERATOR 3&4 (2X1,6 MW) DAN PENINGKATAN  
KONTRAK DAYA PLN 25MVA**

<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>: Fahmi Rusdi</b>
<b>Nrp</b>	<b>: 2211106020</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: Prof. Ir. H. Ontoeseno Penangsang, M.Sc, Ph.D</b>
<b>NIP</b>	<b>: 1949 07 15 1974 12 1001</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: Ir. Sjamsul Anam, MT</b>
<b>NIP</b>	<b>: 1963 07 25 1990 03 1002</b>

**ABSTRAK**

PT Wilmar nabati Indonesia – Gresik adalah salah satu group dari Wilmar *International Limited* yang ada di Negara Indonesia. Yang bergerak di bidang industry minyak nabati, Oleochemical, Bioenergy, Flour mills.

Dalam sejarah kelistrikan yang ada di perusahaan ini, ketika tahun 2009 dengan dimulainya pembangunan, sumber listrik yang di punya adalah hanya sekitar 15 MW dari STG1 dan kontrak daya PLN 6,5 MVA. Seiring bertambahnya waktu perkembangan kelistrikannya pun semakin luas, mulai dari sumber pembangkitannya sampai ke topology jaringan distribusinya. Sampai dengan saat ini, menjelang akhir tahun 2015 PT wilmar Nabati Indonesia memiliki Listrik 62,2 MW dan total kontrak daya PLN sebesar 56,5 MVA

Tentunya dengan semakin berkembangnya sumber pemabangkitan dan juga topologi distribusi jaringan kelistrikannya, tentunya settingan dari arus lebih dan koordinasinya pun berubah. Inilah kenapa perlunya di analisa lagi setelan rele dan koordinasinya agar pelayanan daya ke unit yang ada di PT Wilmar ini dapat berjalan dengan baik.

Kata Kunci : rele pengaman, koordinasi





***PROTECTION COORDINATION ANALYSIS ON THE  
ELECTRICAL SYSTEM IN PT. WILMAR NABATI INDONESIA -  
GRESIK, AFTER OPERATION POWER PLANT 2 (13 MW), PLTG  
2 x 6.4 MW, DIESEL ENGINE GENERATOR 3 & 4 (2x1.6 MW)  
AND STEP UP A CONTRACT POWER OF PLN 25 MVA***

**Nama Mahasiswa : Fahmi Rusdi**  
**Nrp : 2211106020**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. H. Ontoeseno Penangsang, M.Sc, Ph.D**  
**NIP : 1949 07 15 1974 12 1001**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Sjamsul Anam, MT**  
**NIP : 1963 07 25 1990 03 1002**

**ABSTRACT**

PT Wilmar Nabati Indonesia - Gresik is one group of Wilmar International Limited in the State Of Indonesia. Engaged in the edible oil industry, Oleochemical, Bioenergy, Flour mills.

In the history of electricity in the company, while the year 2009 with the commencement of construction, which has a power source is only about 15 MW from STG1 and contracts PLN 6,5 MVA. But In 2015 the Source of power and distribution network topology have growth. Up to this time, to the end of 2015 PT Wilmar Nabati Indonesia has 62.2 MW and total electricity power contract of PLN 56.5 MVA

Obviously with growing power source and the electrical network distribution topology, of course that setting of overcurrent and coordination changed. This is why the need to be analyzed again to resetting rele overcurrent and coordination protection in order to service the power to the unit in PT Wilmar can run well.

Keywords: overcurrent relay, coordination



## KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan hidayah, rezeki, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul :

**“Analisa koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan di PT. Wilmar Nabati Indonesia – Gresik, setelah Pengoperasian Power plant 2 (PLTG 13 MW), PLTG 2 x 6.4 MW, Diesel Engine generator 3&4 (2x1.6 MW) dan peningkatan kontrak daya PLN 25 MVA”**

Tugas akhir ini disusun bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan belum sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Akhirnya penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat dan informatif bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2016

Penulis





## DAFTAR ISI

	Hal.
<b>LEMBAR JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Batasan Masalah .....	1
1.4 Tujuan .....	1
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	3

### **BAB II DASAR TEORI**

2.1..Gangguan pada sistem tenaga listrik .....	5
2.2 Sebab terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik .....	6
2.3 Gangguan hubung singkat .....	7
2.3.1 Jenis gangguan hubung singkat .....	8
2.3.2 Perhitungan arus hubung singkat .....	9
2.3.2.1 Hubung singkat tiga fasa .....	10
2.3.2.2 Hubung singkat fasa ke netral .....	10
2.3.2.3 Hubung singkat antar fasa .....	10
2.3.2.4 Hubung singkat satu fasa ke tanah .....	10
2.4 Konsep berdasarkan arus dan waktu .....	13
2.5 Pengaman pada sistem tenaga listrik .....	13
2.5.1 Syarat syarat peralatan pengaman .....	14
2.6 Konsep daerah pengaman .....	14
2.7 Rele sebagai peralatan pengaman .....	15
2.7.1 Elemen dasar rele pengaman .....	16

2.7.2 Rele arus lebih (Over current relay ) .....	17
2.7.3 Setting rele arus lebih untuk gangguan fasa .....	18
2.7.4 Karakteristik rele arus lebih .....	18
2.7.4.1 Rele arus lebih waktu seketika .....	19
2.7.4.2 Rele arus lebih waktu tertentu .....	19
2.7.4.3 Rele arus lebih waktu terbalik (Invers) .....	20
2.8 Penyetelan rele arus lebih waktu Invers .....	21
2.9 Pengenalan Etap .....	22
<b>BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. WILMAR NABATI INDONESIA – GRESIK</b>	
3.1 Alur pengerjaan tugas akhir .....	24
3.2 Sistem Kelistrikan di PT Wilmar Nabati Indonesia .....	24
3.2.1 Rating tegangan di PT Wilmar Nabati Indonesia ....	25
3.2.2 Sumber kelistrikan di Wilmar Nabati Indonesia .....	25
3.2.3 Sistem Distribusi di PT Wilmar Nabati Indonesia ....	26
3.2.4 Data Beban PT Wilmar Nabati Indonesia .....	29
3.3 Peralatan rele arus lebih .....	30
<b>BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA</b>	
4.1 Pemodelan Sistem kelistrikan PT Wilmar .....	32
4.2 Analisa gangguan hubung singkat .....	34
4.2.1 Hubung singkat minimum 30 Cycle .....	34
4.2.2 Hubung singkat maksimum 4 Cycle .....	35
4.3 Koordinasi rele Pengaman .....	35
4.4 Perhitungan Koordinasi rele pengaman .....	36
4.4.1 Perhitungan rele dan analisa Koordinasi typical 1....	37
4.4.2 Perhitungan rele dan analisa Koordinasi typical 2....	45
4.4.3 Perhitungan rele dan analisa Koordinasi typical 3....	53
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	67
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> .....	70
<b>LAMPIRAN A</b> .....	72







## DAFTAR GAMBAR

	Hal
<b>Gambar 2.1</b> Model gangguan jenis hubung singkat .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Gelombang arus hubung singkat .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Koordinasi waktu dan arus .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Konsep daerah pengaman .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Bgan elemen dasar pengaman .....	16
<b>Gambar 2.6</b> Karakteristik rele arus lebih waktu seketika .....	19
<b>Gambar 2.7</b> Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu .....	14
<b>Gambar 2.8</b> karakteristik standart inverse, Very Inverse dan extremely Inverse .....	15
<b>Gambar 2.9</b> Tampilan software ETAP .....	22
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir metedeologi.....	20
<b>Gambar 3.2</b> Sepam Seri 20 .....	26
<b>Gambar 4.1</b> Typical Koordinasi .....	33
<b>Gambar 4.2</b> Typical Koordinasi 1 .....	37
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Plot koordinasi rele Typical 1 .....	43
<b>Gambar 4.4</b> Typical Koordinasi 2.....	44
<b>Gambar 4.5</b> Hasil Plot koordinasi rele Typical 2 .....	51
<b>Gambar 4.6</b> Typical Koordinasi 3 .....	53
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Plot koordinasi rele Typical 3 .....	60



## DAFTAR TABEL

	Hal
<b>Tabel 2.1</b> Tabel praktis cara hitung arus hubung singkat .....	11
<b>Tabel 2.1</b> Koefisien Invers time dial .....	21
<b>Tabel 3.1</b> Data sumber listrik di PT Wilmar Nabati Indonesia ....	25
<b>Tabel 3.2</b> Data Bus dan Trafo Distribusi .....	26
<b>Tabel 3.3</b> Data beban lump PT Wilmar.....	29
<b>Tabel 3.4</b> Data beban motor PT Wilmar .....	29
<b>Tabel 4.1</b> Data Hubung singkat minimum 30 Cycle .....	34
<b>Tabel 4.2</b> Data hubung singkat maksimum 4 Cycle.....	35
<b>Tabel 4.3</b> Tabulasi hasil plot setting rele arus lebih .....	62





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT wilmar nabati Indonesia adalah sebuah perusahaan yang berkembang dengan sangat pesat, karena itu pula konsumsi listrik nya terus bertambah dari tahun ke tahun. Dari tahun 2009 hanya sekitar 15 MW dan kontrak daya PLN 6,5 MVA kini menjelang akhir tahun 2015 PT wilmar Nabati Indonesia memiliki Listrik 62,2 MW dan total kontrak daya PLN sebesar 56,5 MVA. Tidak hanya pada sumber saja yang berubah tapi juga beban dan jaringan dari distribusi kelistrikannya. Oleh karena nya perlu di Analisa lagi rele arus lebih beserta koordinasi proteksinya agar pelayanan distribusi listrik di tiap Unit di PT Wilmar nabati Indonesia dapat berjalan dengan baik.

### **1.2 Permasalahan**

Adapun hal yang menjadi permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana setelan rele dan koordinasi nya setelah penambahan 10 MW, NGT2 6,4 dan kontrak daya PLN 25 MVA
2. Bagaimana sistem kelistrikan di PT wilmar nabati Indonesia dan nilai dari arus hubung singkat tersebut.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Rele pengaman yang dipergunakan adalah rele pengaman arus lebih (*Overcurrent relay*).
2. Software yang digunakan untuk analisa hubung singkat, setting rele dan koordinasi nya adalah software Etap 7.5
3. Konfigurasi jaringan nya adalah ring, tapi pola pengoperasiannya adalah radial atau sendiri sendiri pola bebannya

### **1.4 Tujuan**

Tujuan pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Memodelkan, dan menganalisa sistem kelistrikan PT Wilmar Nabati Indonesia mengingat Konfigurasi distribusi, beban, dan juga sumber nya banyak yang telah berubah.
2. Menganalisa rele pengaman yang terpasang beserta parameter nya apakah sudah mampu bekerja sebagaimana mestinya setelah penambahan generator 10MW, NGT2 6,4 MW dan kontrak daya PLN 25 MVA.

### 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur  
Pengambilan data dilakukan langsung dengan meminta data di pegawai PT Wilmar. Meliputi data Trafo, data generator, data beban, data kabel dan Single line diagram kelistrikan Wilmar. Tidak lupa literatur buku, jurnal ilmiah (*paper*), datasheet dan user manual peralatan.
2. Pemodelan dan Simulasi  
Setelah mendapatkan data-data dan literatur yang menunjang, dilakukan pemodelan menggunakan *software* ETAP 7.5. Selanjutnya dilakukan analisa aliran daya, simulasi hubung singkat minimum dan maksimal terhadap busbar yang akan di analisa. Tujuan dilakukan pemodelan dan simulasi ini adalah untuk mengetahui besarnya daya dan arus hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan tersebut.
3. Analisis  
Hasil dari simulasi hubung singkat dan aliran daya digunakan untuk meyetting parameter rele dan koordinasi antar rele arus lebih. Analisa ini dengan menggambarkan kurva karakteristik arus lebih pada salah satu fungsi yang terdapat pada *software* ETAP 7.5. Yaitu *Star – Protective Device Coordination*. menggunakan *software* ETAP 7.5 dari kurva karakteristik itu dapat diketahui apakah parameter rele beserta koordinasi nya yang telah kita setting digunakan sudah sesuai atau tidak.
4. Kesimpulan  
Langkah akhir dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari permasalahan yang dianalisis.

Selain itu juga diberikan saran atau rekomendasi berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **Bab I : PENDAHULUAN**

Pendahuluan membahas latar belakang pengambilan judul, permasalahan, tujuan, metode penelitian, sistematika dari penulisan tugas akhir ini.

### **Bab II : TEORI PENUNJANG**

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam tugas akhir ini.

### **Bab III : SISTEM KELISTRIKAN DI PT WILMAR NABATI INDONESIA**

Pada bab ini, akan menjelaskan sistem distribusi kelistrikan di PT Wilmar Nabati Indonesia.

### **Bab IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISA**

Pada Bab ini akan menjelaskan tentang hubungsingkat dan koordinasi rele pengaman arus lebih pada Pt Wilmar Nabati Indonesia.

### **Bab V : PENUTUP**

Kesimpulan dan saran yang didapat dari penulisan tugas akhir ini.

## **1.7 Relevansi**

Dengan penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi masukan kepada PT Wilmar nabati untuk resetting rele pengaman arus lebih setelah adanya penambahan daya. Dan berharap bermanfaat untuk berbagai pihak pada umumnya bila akan mencari buku referensi tentang koordinasi proteksi.





*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1 Gangguan pada sistem tenaga listrik**

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam jenis dan besarnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu :

1. Gangguan yang berasal dari sistem
2. Gangguan yang berasal dari luar sistem

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain [1] :

1. Tegangan dan arus abnormal
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain [1] :

1. Gangguan gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi terutama pada sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Bila ditinjau dari aspek lamanya gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi [1] :

1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguan terputus misalnya karena terbukanya *circuit breaker* (CB) oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut tiap kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diganti atau diperbaiki.

Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperature yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

## **2.2 Sebab terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik.**

Gangguan pada suatu sistem tenaga listrik antara lain disebabkan oleh :

### **1. Gangguan beban lebih (*Overload*)**

Merupakan gangguan dimana arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diijinkan ( $I > I_n$ ). Bila gangguan ini dibiarkan berlangsung terus menerus maka dapat menyebabkan rusaknya peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pencegahan gangguan semacam ini dapat dilakukan dengan mengatur lokasi pembangkitan agar tidak ada bagian tertentu dalam sistem yang mengalami beban lebih. Namun hal ini tidaklah selalu mungkin dilakukan karena tergantung kepada keadaan sistem [9].

### **2. Gangguan hubung singkat (*Shunt* / Paralel)**

Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu gangguan hubung singkat seimbang (*balance faults*) dan gangguan hubung singkat tidak seimbang (*unbalance faults*) [4] atau simetri tidak simetri [10]. Gangguan ini dapat mengakibatkan mengalirnya arus pada fasa yang terganggu. Selain itu gangguan itu gangguan ini juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan tidak simetri.

### **3. Gangguan hubung terbuka / saluran putus (seri)**

Pada umumnya gangguan rangkain hubung terbuka lebih jarang terjadi dibanding gangguan hubung singkat. Pada kenyataan dilapangan justru sering terjadi gangguan hubung singkat terbuka yang kemudian

berubah menjadi hubung singkat oleh kejadian kejadian yang mengikutinya [15]. Beberapa gangguan terbuka yang terjadi bahkan lebih mungkin menimbulkan bahaya bagi orang yang menanganinya. Gangguan seri ini dalam bentuk umum disebabkan oleh keadaan tidak seimbang atau tidak simetri impedansi seri saluran. Gangguan terbuka ini dapat berupa gangguan satu saluran (1L-0) dan gangguan dua saluran terbuka (2L-0) dan impedansi seri tidak seimbang. Pada sistem tiga fasa gangguan ini dapat disebabkan oleh pemutus daya yang tidak membuka ketigafasanya secara keseluruhan, misal hanya satu atau dua fasa saja yang terbuka sedangkan fasa yang lainnya tertutup [16].

#### 4. Gangguan serentak (simultan).

Merupakan gangguan yang terjadi di dua lokasi atau lebih secara serentak, gangguan ini merupakan kombinasi antara : gangguan shunt, shunt – seri dan atau seri – seri [10].

Akibat yang ditimbulkan oleh adanya gangguan antara lain [16] :

1. Jenis gangguan yang tidak normal dari batas yang diijinkan akan menyebabkan arus yang besar mengalir pada saluran sistem tenaga listrik
2. Suatu gangguan dapat menurunkan, menghilangkan atau menaikkan sistem tegangan di luar batas yang ditentukan,
3. Gangguan hubung singkat dan gangguan yang memancarkan listrik dalam cairan dapat menyebabkan temperature yang sangat tinggi sehingga dapat menguapkan material atau zat, merusakkan peralatan serta dapat menimbulkan api.
4. Gangguan dapat mengakibatkan sistem daya tiga fasa menjadi tidak simetri atau tidak seimbang. Hal ini menyebabkan peralatan tiga fasa tidak layak untuk dioperasikan.
5. Gangguan dapat menghalangi aliran daya.
6. Gangguan dapat mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil dan menghentikan aliran daya sistem tenaga listrik.

### 2.3 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat / short circuit adalah salah satu gangguan yg bisa terjadi di sistem tenaga listrik. Definisi hubung singkat menurut IEC 60909 adalah, hubungan konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yg cukup rendah antara dua atau lebih titik yg dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial.

Tujuan dari analisa hubung singkat adalah untuk menentukan arus dan tegangan maksimum dan minimum pada bagian-bagian atau titik–



titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis gangguan yang terjadi, sehingga dapat ditentukan pengaman, rele dan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) untuk mengamankan sistem dari keadaan tidak normal dalam waktu seminimal mungkin.

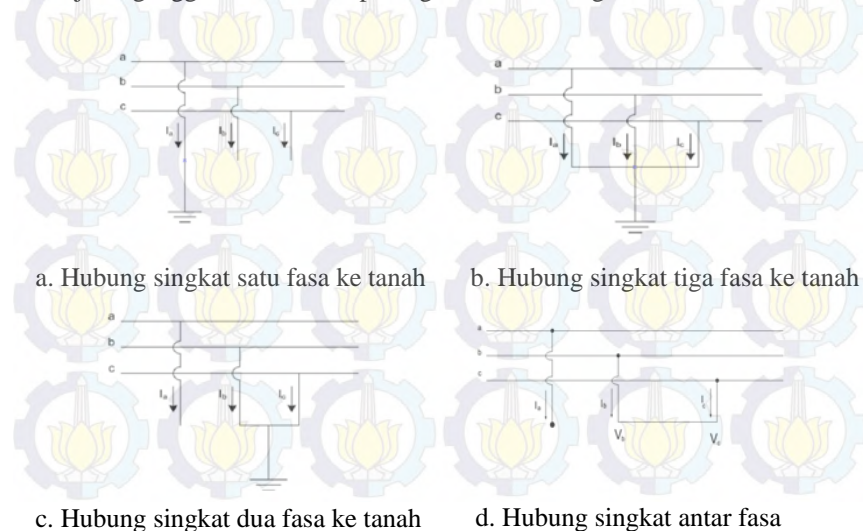
Gangguan hubung singkat mengakibatkan mengalirnya arus lebih pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari *rating* arus maksimum yang diijinkan peralatan. Sehingga akan dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik bila alat pengaman tidak segera bekerja.

### 2.3.1. Jenis Gangguan Hubung Singkat

Gangguan-gangguan yang terjadi dalam sistem tenaga kebanyakan adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, hubung singkat antar fasa atau hubung singkat dua fasa ke tanah. Berdasarkan jenis gangguan fasa, gangguan pada sistem tenaga itu antara lain :

- Gangguan satu fasa ke tanah
- Gangguan antar fasa
- Gangguan dua fasa ke tanah
- Gangguan tiga fasa
- Gangguan tiga fasa ke tanah

Jenis-jenis gangguan tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :





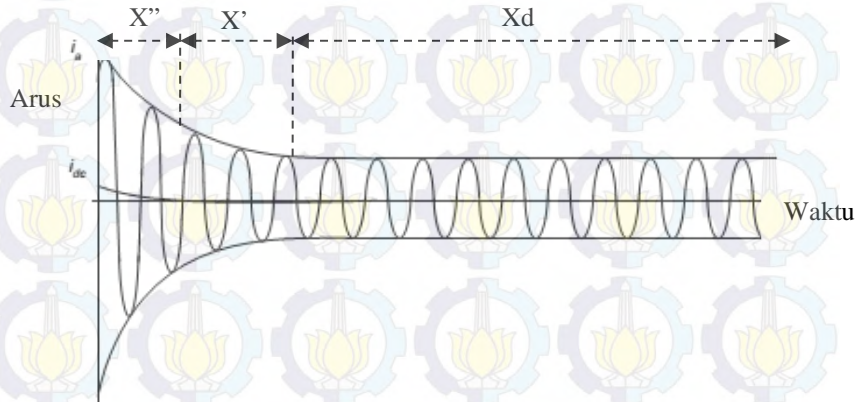


d. Hubung singkat tiga fasa

**Gambar 2.1** Model Jenis Gangguan Hubung Singkat

### 2.3.2 Perhitungan arus hubung singkat.

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, akan mengalir arus yang sangat tinggi dengan tiba tiba dari sumber ke titik gangguan. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat [3]. Reaktansi pada beberapa Cycle pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut reaktansi subtransien ( $X''_d$ ). Kemudian beberapa cycle kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut reaktansi transien ( $X'_d$ ). dan akhirnya kondisi mencapai steady state dan pada saat ini reaktansinya disebut reaktansi sinkron ( $X_d$ ).



**Gambar 2.2** Gelombang arus hubung singkat

### 2.3.2.1 Hubung singkat tiga fasa

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa ( $I_{sc3}$ ) diberikan pada persamaan berikut :

$$I_{sc3} = \frac{v \div \sqrt{3}}{Z_{sc}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana  $V$  adalah tegangan line to line, dan  $Z_{sc}$  adalah impedansi ekivalen sistem ketika arus mengalir dan arus menuju titik hubung singkat.

### 2.3.2.2 Hubung singkat Fasa ke netral

Hubung singkat ini terjadi di antara salah satu fasa dengan netral. Arus hubng singkat fasa ke netral ( $I_{sc1}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc1} = \frac{v \div \sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_{Ln}} \dots\dots\dots(2)$$

### 2.3.2.3 Hubung singkat antar fasa

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa ( $I_{sc2}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc2} = \frac{v \div \sqrt{3}}{2 + Z_{sc}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} = 0,86 I_{sc3} \dots\dots\dots(3)$$

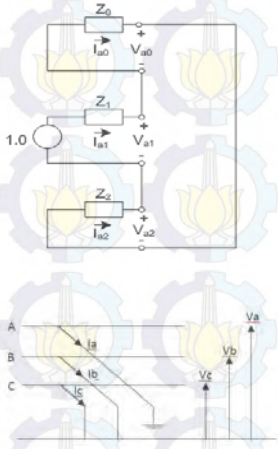
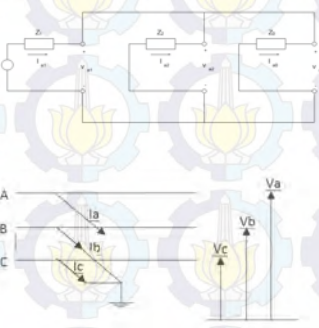
### 2.3.2.4 Hubung singkat satu fasa ke tanah

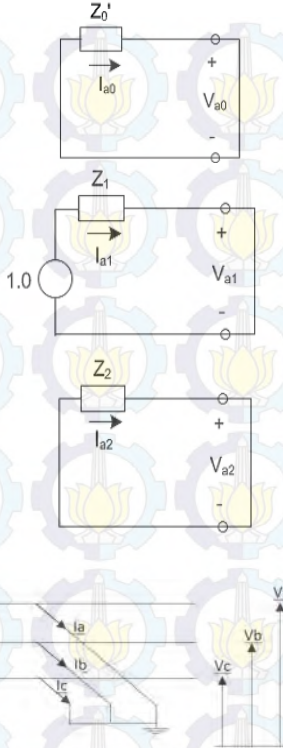
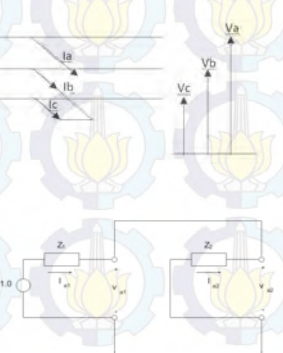
Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol ( $Z_0$ ), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat anatar fasa ( $I_{sc0}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{v \div \sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_0} \dots\dots\dots(4)$$

Rangkuman Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan table 2.1 di bawah ini :

**Tabel 2.1** Tabel praktis Cara menghitung arus hubung singkat

Gangguan Hubung singkat	Rangkain Hubung singkat & Rangkain pengganti	Persamaan
1 fasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ $I_{a1} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$
2 fasa ke tanah		$I_a = 0$ $V_b = 0$ $V_c = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}}$

Gangguan Hubung singkat	Rangkain Hubung singkat & Rangkain pengganti	Persamaan
3 fasa langsung ( simetri)		$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$
Antar Fasa		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{a1} = \pm j \frac{1,73V_f}{Z_1 + Z_2}$



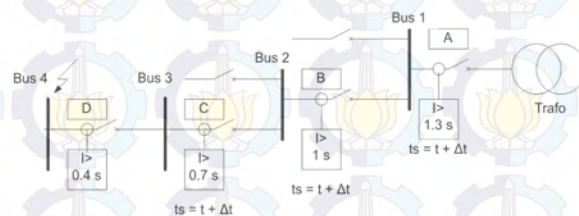
## 2.4 Koordinasi berdasarkan arus dan waktu.

Dalam suatu sistem kelistrikan terdapat susunan rele pengaman yang terdiri dari rele pengaman utama dan rele pengaman backup. Antara rele pengaman utama dengan rele pengaman backup ini harus dikoordinasikan agar menghasilkan sistem proteksi yang sempurna. Adapun koordinasi ini dilakukan pada setelan pickup dan time delay dari rele tersebut. Sebagai contoh koordinasi rele pengaman, dapat dilihat pada **Gambar 2.3** Untuk memberikan koordinasi yang baik, setelan pickup rele rele tersebut harus memenuhi syarat sebagai berikut.

$I_{set A} > I_{set B} > I_{set C} > I_{set D}$

Pada aplikasi praktis, sering digunakan batas 125% dari nilai backup rele dibawahnya. Sedangkan pada setelan waktu, dikenal adanya setting keterlambatan waktu ( $\Delta t$ ) atau grading time. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele backup adalah 0,2 – 0,35 detik. Adapun penentuan grading time ini di dasarkan pada tiga hal, yaitu :

- Waktu membuka CB
- Overtravel dari rele
- Faktor keamanan



**Gambar 2.3.**Koordinasi waktu dan arus

## 2.5 Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik

Untuk mengatasi gangguan-gangguan yang telah disebutkan di atas, maka diperlukan pengaman sistem tenaga listrik. Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik adalah menghasilkan dan menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkitan atau sumber menuju ke konsumen. Keperluan akan sistem tenaga listrik yang handal dan ekonomis tidak dapat dihindari. Banyak peralatan sistem tenaga listrik yang harganya sangat mahal dan memiliki sistem yang begitu rumit,

mengambarkan bahwa banyaknya modal yang harus dikeluarkan untuk merancang sistem tenaga listrik ini. Biaya modal ini akan cepat kembali jika sistem tersebut dalam penggunaannya memungkinkan pengamanan dan keandalan sistem terjamin.

#### **2.5.1 Syarat syarat peralatan pengaman**

Peralatan pengaman pada sistem tenaga listrik, mempunyai fungsi dan tugas utama, antara lain :

1. Memastikan keamanan terhadap perseorangan
2. Meminimalkan kerusakan serta biaya perbaikan pada bagian yang mengalami gangguan.
3. Sebagai pelindung keseluruhan sistem untuk menjaga suplai listrik secara terus menerus.

Oleh karena itu, peralatan pengaman yang ada harus dapat memenuhi syarat syarat sebagai berikut :

- a. Selektifitas, yaitu kemampuan untuk mendeteksi dan mengisolasi bagian yang mengalami gangguan saja.
- b. Stabilitas, yaitu kemampuan untuk menjaga suplai pada bagian yang tidak mengalami gangguan.
- c. Sensifitas, yaitu kemampuan untuk mendeteksi gangguan yang paling kecil sekalipun dan beroperasi dengan benar sesuai dengan setelannya.
- d. Kecepatan, yaitu dapat beroperasi secepat mungkin ketika terjadi gangguan sehingga keamanan sistem dan perseorangan menjadi lebih terjamin.
- e. Andal, yaitu kemampuan untuk mengamankan sistem setiap kali ada gangguan.

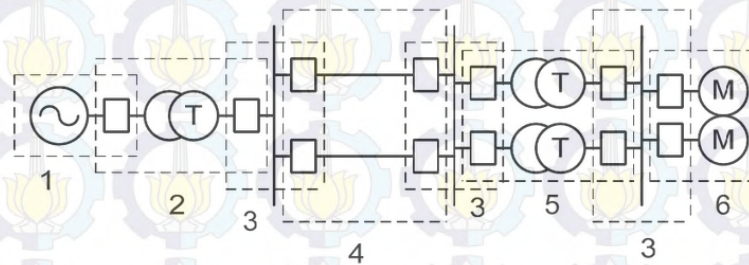
#### **2.6 Konsep Daerah Pengaman**

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan - peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

Fungsi Pengaman Kegunaan sistem pengaman tenaga listrik, antara lain untuk :

1. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
2. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
3. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
4. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.
5. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Di dalam pengamanan sistem tenaga listrik, seluruh komponen harus diamankan dengan tetap menekankan selektivitas kerja peralatan/relay pengamanan. Untuk mencapai hal ini, sistem tenaga listrik dibagi menjadi daerah-daerah (zona) pengamanan seperti terlihat pada **Gambar 2.4** berikut ini :



**Gambar 2.4** Konsep daerah pengamanan

Keterangan :

- 1 = Zone Generator
- 2 = Zone Transformator Step-Up
- 3 = Zone Busbar
- 4 = Zone Transmisi
- 5 = Zone Transformator Step-Down
- 6 = Zone Beban

Setiap daerah pengamanan pada umumnya terdiri atas satu atau lebih elemen sistem tenaga listrik. Misalnya generator, busbar, transformator, transmisi, dan lain-lain. Agar seluruh sistem tenaga listrik dapat diamankan, maka harus ada daerah yang tumpang-tindih



(overlap). Artinya ada elemen sistem yang diamankan oleh dua daerah pengamanan. Setiap daerah pengamanan dijaga oleh relay yang sesuai dengan karakteristik peralatan yang diamankan. Pada umumnya yang menjadi batas pengamanan antar daerah pengamanan ialah trafo arus yang mencatu ke relay.

## 2.7 Rele Sebagai peralatan pengamanan

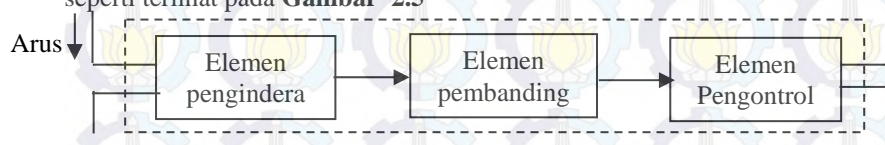
Rele merupakan salah satu bagian dari pengamanan sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memberikan sinyal *trip* ke *circuit breaker* (CB), agar dapat memutuskan atau menghubungkan penyaluran energi listrik. Rele ini akan memberikan sinyal untuk *trip* ke *circuit breaker* jika terdapat gangguan pada zona yang diamankan oleh rele tersebut. Pada dasarnya rele proteksi terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen operasi menerima masukan arus dari transformator arus atau tegangan dari transformator tegangan atau kombinasi dari keduanya.

Dalam beberapa kasus rele melakukan pengukuran atau perbandingan operasi dasar *input* dan mengubahnya dalam bentuk gerakan kontak. Keadaan keluaran dari rele adalah menutup (*close*) dan ditahan (*block*). Jika keadaan tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dari *circuit breaker* dimana pada gilirannya akan mengisolasi gangguan dari bagian sistem tenaga listrik lain yang sehat.

Di dalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan operasi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu hal-hal yang mempengaruhi dalam penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan.

### 2.7.1 Elemen dasar rele pengamanan

Rele pengamanan biasanya dipisahkan menjadi tiga element dasar seperti terlihat pada **Gambar 2.5**



**Gambar 2.5** bagan elemen dasar rele pengamanan [6]



### →Elemen pengindra

Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi dan sebagainya tergantung rele yang digunakan. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya apakah keadaan yang di proteksi mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal yang untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding.

### →Elemen pembanding

Elemen ini berfungsi menerima besaran yang diterima oleh elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran disetel pada rele. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pembanding ini adalah rele, yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari elemen pengindra dan membandingkan dengan besaran arus penyetelan dari kerja rele.

### →Elemen pengontrol

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan sinyal. Komponen yang berfungsi sebagai elemen control adalah kumparan penjatuh (trip-coil).

### 2.7.2 Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Salah satu jenis rele pengaman yang sering digunakan dalam sistem tenaga listrik sebagai pengaman peralatan adalah rele arus lebih. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (overload) dan gangguan hubung singkat (short circuit).

### 2.7.3 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan suatu jenis rele yang bekerja berdasarkan besarnya arus masukan, dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur ( $I_{pp}$ ) maka rele arus lebih bekerja. Dimana  $I_{pp}$  merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Bila suatu gangguan terjadi didalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan  $I_f$  yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT juga. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$I_f > I_{pp}$	rele bekerja (trip)
$I_f < I_{pp}$	tidak bekerja (blok)

### 2.7.3 Setting Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa

Setting rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting* harus lebih besar dari arus beban maksimum. Menurut Standart British BS 142- 1983 batas penyetelan antara nominal 1,05 – 1,3 I<sub>set</sub>[9]. Mengacu pada standart tersebut, pada tugas akhir ini lebih amannya menggunakan konstanta 1,05 I<sub>sett</sub>. Jadi untuk *setting* dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{set} \geq 1,05 \times I_{nominal}$$

$$I_s = \frac{I_{set}}{\text{rasio\_ct}}$$

dimana :

I<sub>s</sub> = arus *setting*

Pemilihan tap yang digunakan = I<sub>s</sub> / CT

Setelan arus aktual I<sub>set</sub> = tap x I<sub>n</sub> x CT

Dicari nilai dibawahnya yang terdekat.

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum *setting*, untuk alasan keamanan dan *back up* hingga ke sisi muara estimasi *setting* ditetapkan[10]:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc LL}$$

I<sub>sc LL</sub> adalah arus hubung singkat 2 fasa dengan pembangkitan minimum yang terjadi diujung saluran seksi berikutnya. Besar arus ini diperoleh dari arus hubung singkat 3 fasa pada pembangkitan minimum dikalikan 0,866. Mengacu pada konsep diatas persyaratan setelan arus dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$1,05 I_{FLA} < I_s < 0,8 I_{sc min}$$

Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus disetel untuk dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin. Untuk jenis rele arus yang lebih karakteristik *inverse*, *setting* waktunya ditentukan pada saat arus gangguan maksimum.

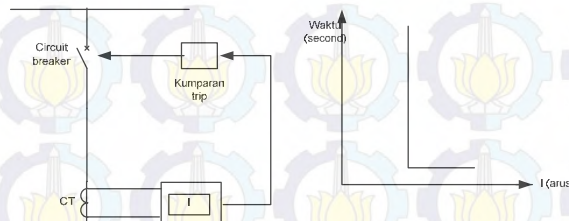
### 2.7.4 Karakteristik Rele Arus Lebih

Karakteristik waktu rele arus lebih dapat dibedakan dalam beberapa jenis antara lain :

#### 2.7.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

Rele ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting*, rele akan bekerja dalam waktu beberapamili detik. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain.

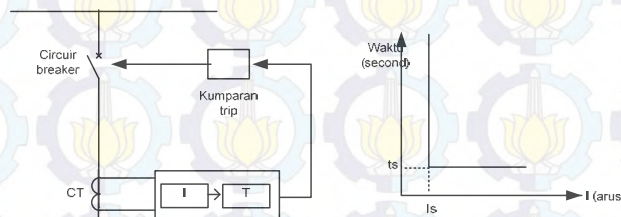
**Gambar 2.6** merupakan karakteristik rele arus lebih waktu seketika



**Gambar 2.6** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

#### 2.7.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite*)

Rele arus lebih waktu tertentu memungkinkan pengaturan waktu operasi yang bervariasi berdasarkan level arus yang berbeda [10]. Setelan rele ini dapat disesuaikan sedemikian rupa sehingga pemutus yang paling dekat dengan sumber gangguan akan trip lebih cepat daripada yang lain, dan pengaman sisanya akan trip jika setelan waktu tunda yang diberikan gangguan masih berlanjut. Pada rele arus lebih waktu tertentu, semua level arus yang melebihi pickup setpoint nya akan diputuskan dalam waktu yang sama [11]. **Gambar 2.7** menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.



**Gambar 2.7** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

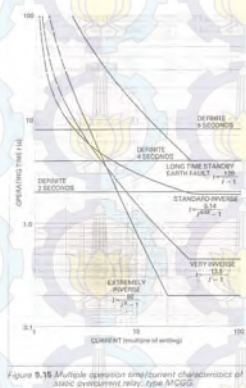


#### 2.7.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse*)

Rele arus lebih waktu invers memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan [10]. Dengan kata lain semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers digambarkan dalam kurva arus – waktu atau yang biasa disebut *time-current characteristic* (TCC). TCC adalah kurva dengan skala dalam time dial. Semakin besar time dial, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut [11].

Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standart 60255-3 dan BS-142. Standart ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradient kurvanya, yaitu *standart inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse* [12]. Standart lain, misalnya IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*.

Adapun contoh kurva untuk karakteristik standart inverse, very inverse, dan extremely inverse berdasarkan standart IEC-60255-3 dan BS-142 diberikan pada **Gambar 2.8**. Karakteristik invers ini banyak dikenal sebagai sebutan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu definite minimumnya [13].



**Gambar 2.8** Karakteristik standart inverse, very inverse dan extremely inverse



## 2.8 Penyetelan rele arus lebih waktu Invers

Rele arus lebih memiliki setelan pickup dan setelan time dial, pickup didefinisikan sebagai nilai arus minimum yang menyebabkan rele bekerja. Untuk menentukan setelan rele pickup, harus dipertimbangkan besarnya arus nominal maksimum yang mengalir. Setelan rele tidak trip ketika arus yang mengalir mencapai nilai maksimum. Pada rele arus lebih, besarnya arus pickup ini ditentukan dengan pemilihan *tap*, adapun untuk menentukan besarnya tap yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana *Iset* adalah besarnya arus pickup dalam Ampere. Pada aplikasi praktis dilapangan, sering digunakan setelan 115%-150% dari arus nominal maksimum tergantung keperluannya, misalnya untuk pickup rele arus lebih pada motor, diambil *Iset* sebesar 115% dari arus full load nya [12], feeder dan trafo diambil *Iset* sebesar 120% dari arus full load nya [18]. Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan time dial dari masing masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [19] :

$$T_d = \frac{k \times T}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

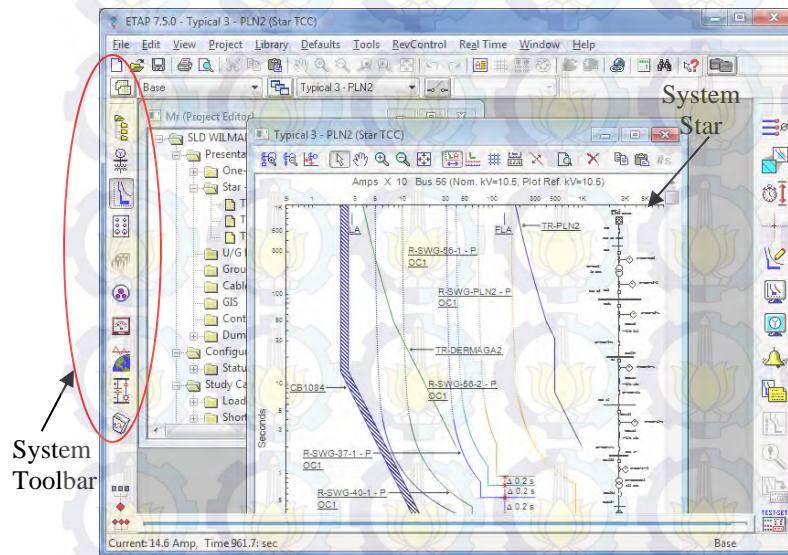
- td* = Waktu operasi (detik)
- T* = Time dial
- I* = nilai arus (Ampere )
- Iset* = Arus Pickup (Ampere )
- K* = Koefisien Invers 1 (lihat table 2.2)
- α* = Koefisien Invers 2 (lihat table 2.2)
- β* = Koefisien Invers 3 (lihat table 2.2)

**Tabel 2.2** Koefisien Invers time dial

Tipe kurva	Koefisien		
	K	α	B
Standart Inverse	0,14	0,02	2,97
Very Inverse	13,50	1,00	1,500
Extremely Inverse	80,00	2,00	0,800

## 2.9 Pengenalan Etap

ETAP adalah software analisis yang sangat komprehensif untuk desain, simulasi, operasi, dan distribusi dalam suatu kelistrikan industry [21]. ETAP telah di desain oleh para ahli dibidang kelistrikan untuk menangani berbagai macam permasalahan dalam industry secara luas. Semua fitur tersebut diintegrasikan dalam suatu paket program yang memiliki banyak antarmuka dan mode analisis, seperti simulasi aliran daya, studi hubung singkat, harmonisa, motor starting, kestabilan transient dan koordinasi proteksi. Adapun tampilan software ETAP dapat dijelaskan pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Tampilan software ETAP



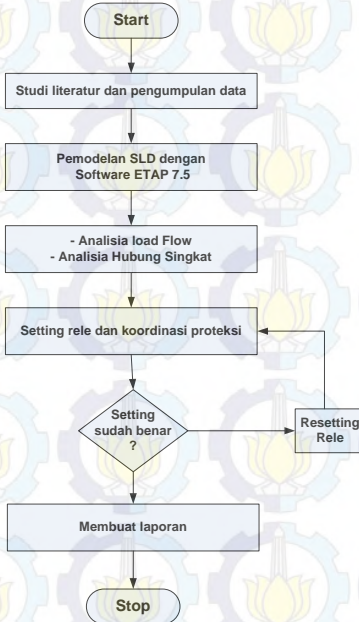


### BAB III

## SISTEM KELISTRIKAN PT. WILMAR NABATI INDONESIA - GRESIK

### 3.1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut akan di gambarkan sebuah flowchart metedeologi untuk menyelesaikan tugas akhir terhadap analisa koordinas proteksi di Pt Wilmar Nabti Indonesia.



**Gambar 3.1** Diagram alir metedeologi

### 3.2 Sistem Kelistrikan di PT. Wilmar Nabati Indonesia

PT Wilmar nabati Indonesia – Gresik adalah salah satu group dari Wilmar *International Limited* yang ada di Negara Indonesia. Yang bergerak di bidang industry minyak nabati, Oleochemical, Bioenergy, Flour mills.

Dalam sejarah kelistrikan yang ada di perusahaan ini, ketika tahun 2009 dengan dimulainya pembangunan, sumber listrik yang di



punya adalah hanya sekitar 15 MW dari STG1 dan kontrak daya PLN 6500 mVA. Seiring bertambahnya waktu perkembangan kelistrikannya pun semakin luas, mulai dari sumber pembangkitannya sampai ke topology jaringan distribusinya. Sampai dengan saat ini, menjelang akhir tahun 2015 PT Wilmar Nabati Indonesia memiliki Listrik 62,2 MW dan total kontrak daya PLN sebesar 56,5 MVA. Adapun single line diagram dari keseluruhan sistem kelistrikan PT Wilmar Nabati Indonesia dapat dilihat di akhir lembar lampiran.

### 3.2.1 Rating Tegangan di PT. Wilmar Nabati Indonesia

Rating tegangan PT. Wilmar nabati Indonesia memiliki 3 rating tegangan yaitu pada jaringan tegangan tinggi sebesar 20 kV. Yaitu pada daerah penerima suplai dari Gardu Induk Segoromadu – Gresik. Kemudian dari 20 kV akan di turunkan menjadi tegangan menengah sebesar 10,5 kV dan diturunkan lagi ke menjadi tegangan rendah sebesar 0,4 kV. Pada tegangan 0,4 kV ini lah yang di terima oleh tiap tiap unit yang ada di PT Wilmar nabati Indonesia.

### 3.2.2 Sumber Kelistrikan di PT. Wilmar nabati Indonesia

Berikut adalah data sumber kelistrikan yang ada di PT Wilmar nabati Indonesia sampai dengan akhir tahun 2015.

**Tabel 3.1** Data Sumber listrik PT Wilmar Nabati Indonesia.

No	Sumber	Mode Operasi	Kapasitas	Teg Primer (KV)	Teg Sekunder (kV)	Thn
1	PLN 1	Swing	6500 kVA	20 kV	10,5	2009
2	PLN 1	Swing	25.000 MVA	20	10,5	2013
3	PLN 2	Swing	25.000 MVA	20	10,5	2015
4	STG 1	Mvar	15 MW	10,5	10,5	2009
5	STG 2	Mvar	15 MW	10,5	10,5	2010
6	PP 2a	Mvar	10 MW	10,5	10,5	2013
7	PP 2b	Mvar	3 MW	0,4	10,5	2012

7	NGT 1	Mvar	6,4 MW	10,5	10,5	2012
8	NGT 2	Mvar	6,4 MW	10,5	10,5	2015
9	DEG 1	Mvar	1,6 MW	0,4	10,5	2010
10	DEG 2	Mvar	1,6 MW	0,4	10,5	2010
11	DEG 3	Mvar	1,6 MW	0,4	10,5	2014
12	DEG 4	Mvar	1,6 MW	0,4	10,5	2014

### 3.2.3 Sistem Distribusi di PT. Wilmar Nabati Indonesia

Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi ring yang dioperasikan secara radial dengan membuka breaker pada titik titik tertentu. Tegangan menengah untuk distribusi listriknya adalah 10,5 kV dan diturunkan menjadi 0,4 kV ketika di Unit masing masing menggunakan trafo *Stepdown*.

Terdapat sekitar 48 Bus dengan 60 Trafo distribusi. Untuk lebih jelasnya bias dilihat pada Tabel 3.3.1 di bawah ini.

**Tabel 3.2.** Data Bus dan Trafo Distribusi

No	Bus	Tegangan	Trafo	kVA
1	Bus 02	0,4 kV	New Compressor	2900
2	Bus 02	0,4 kV	Cpko Plant	1300
3	Bus 08	0,4 kV	Biodiesel	5700
4	Bus 09	0,4 kV	Me Fract	2800
5	Bus 10	0,4 kV	Biorifenery	5100
6	Bus 06	0,4 kV	Finishing Sub1	2500
7	Bus 06	0,4 kV	Finishing Sub2	500
8	Bus 03	0,4 kV	Air Compressor	1250
9	Bus 05	0,4 kV	Blow Moulding	1600
10	Bus 05	0,4 kV	Cpc	1250
11	Bus 04	0,4 kV	TF-KB	1600
12	Bus 04	0,4 kV	Refenery 3100	8000
13	Bus 21	0,4 kV	Boiler	2500
14	Bus 19	0,4 kV	TF-NKB	800
15	Bus 23	0,4 kV	Texturing 1,2,3	2700

16	Bus 23	0,4 kV	Texturing 4,5	1000
17	Bus 42	0,4 kV	Fatty Acid 1	3900
18	Bus 42	0,4 kV	Fatty Acid 2	4100
19	Bus 18	0,4 kV	TF Oleo	3400
20	Bus 18	0,4 kV	H2 Hydrocem 01	1600
21	Bus 22	0,4 kV	MES	4500
22	Bus 51	0,4 kV	Hydrochem 2	2000
23	Bus 52	0,4 kV	H2 Gas O3	2000
24	Bus 24	0,4 kV	RO / ETP	1250
25	Bus 24	0,4 kV	BWRO	1600
26	Bus 24	0,4 kV	Lighting CPC	500
27	Bus 46	0,4 kV	Filling	1600
28	Bus 46	0,4 kV	Blow Moulding	2500
29	Bus 28	0,4 kV	Fatty Acid	2000
30	Bus 28	0,4 kV	Fatty Alcohol	8700
31	Bus 30	0,4 kV	Biodiesel 3	2600
32	Bus 30	0,4 kV	PFAD Gly	2000
33	Bus 30	0,4 kV	Biodiesel 2	2600
34	Bus 30	0,4 kV	Lighting BD	400
35	Bus 29	0,4 kV	Refenery & Fraction 3000	5000
36	Bus 29	0,4 kV	Refenery & Fraction 2600	3000
37	Bus 26	0,4 kV	NPK 1	5800
38	Bus 26	0,4 kV	NPK 2	6000
39	Bus 33	0,4 kV	PK Solvent	5800
40	Bus 38	0,4 kV	Flourmill A	3000
41	Bus 38	0,4 kV	Flourmill B	3000
43	Bus 45	0,4 kV	Rock Grinding	2000
44	Bus 44	0,4 kV	SWRO 2 & 3	2000
45	Bus 27	0,4 kV	Jetty & SWRO	2000
46	Bus 49	0,4 kV	Conveyor PKC	500
47	Bus 49	0,4 kV	Wheat Crane	500
48	Bus 47	0,4 kV	Dermaga 1	500
49	Bus 47	0,4 kV	Dermaga 2	500
50	Bus 48	0,4 kV	Dermaga 3	500
51	Bus 48	0,4 kV	Dermaga 4	500



52	Bus 48	0,4 kV	TF 64 MT – 80 MT	6000
53	Bus 32	10,5 kV	TR-PLN 1A	6500
54	Bus 32	10,5 kV	TR-PLN 1B	6500
55	Bus 35	10,5 kV	TR-PLN 1C	25000Kva
56	Bus 15	10,5 kV	DEG1	2000kVA
57	Bus 15	10,5 kV	DEG2	2000kVA
58	Bus 15A	10,5 kV	DEG3	2000kVA
59	Bus 15B	10,5 kV	DEG4	2000kVA
60	Bus 56	10,5 kV	TR-PLN2	25000 kVA
61	Bus 16	10,5 kV	-	-
62	Bus 11	10,5 kV	-	-
63	Bus 12	10,5 kV	-	-
64	Bus 13	10,5 kV	-	-
65	Bus 41	10,5 kV	-	-
66	Bus 42	10,5 kV	-	-
67	Bus 14	10,5 kV	-	-
68	Bus 20	10,5 kV	-	-
69	Bus 50	10,5 kV	-	-
70	Bus 43	10,5 kV	-	-
71	Bus 37	10,5 kV	-	-
72	Bus 55	10,5 kV	-	-



### 3.2.4 Data Beban PT. Wilmar Nabati Indonesia

Beban beban pada sistem kelistrikan Wilmar nabati Indonesia dimodelkan dengan beberapa beban *lump* dan beban motor yang merupakan motor induksi. Hasil pemodelan pada software Etap dapat dilihat di lampiran. Sedangkan data beban motor dan lump bias dilihat pada table di bawah ini.

**Tabel 3.3** Data beban lump PT Wilmar

No	Beban	Bus	Tegangan kV	kVA
1	Lump24	Bus201	0,4	500
2	Lump23	Bus200	0,4	500
3	Lump20	Bus197	0,4	500
4	Lump19	Bus196	0,4	500
5	Lump26	Bus203	0,4	4000
6	Lump17	Bus194	0,4	500
7	Lump16	Bus193	0,4	500
8	Lump14	Bus190	0,4	1750
9	Lump5	Bus41	0,4	1000
10	Lump12	Bus188	0,4	1000
11	Lump29	Bus195	0,4	2000
12	Lump9	Bus180	0,4	2000
13	Lump3	Bus187	0,4	1000
14	Lump2	Bus17	0,4	2000
15	Lump30	Bus211	0,4	400
16	Lump28	Bus209	0,4	2000
17	Lump27	Bus207	0,4	1200
18	Lump25	Bus205	0,4	2000
19	Lump22	Bus208	0,4	300
20	Lump11	Bus204	0,4	1500
21	Lump8	Bus199	0,4	1500
22	Lump13	Bus168	0,4	1200
23	Lump15	Bus42	0,4	1000
24	Lump33	Bus215	0,4	500

**Tabel 3.4** Data beban motor PT Wilmar

No	Bus	Tegangan	Total load ( KW)
1	Refract	0,4	789,80
2	Finishing Plant	0,4	6515,62

3	Biodiesel 1 &2	0,4	1485,45
4	Fractionation 1	0,4	3736,34
5	Biorifenery	0,4	1773,40
6	Fatty Acid 1,2,3	0,4	3231,55
7	H2 Gas	0,4	5156,34
8	Texturing	0,4	2491,24
9	Boiler	0,4	2475,88
10	MES plant	0,4	160,37
11	PKC	0,4	2808,57
12	WTP	0,4	7080,89
13	FAL	0,4	827,20
14	Ref & Fract 3,4	0,4	6516,31
15	Cpko	0,4	7560
16	Pk Solvent	0,4	2847,85

### 3.3 Peralatan rele arus lebih

Rele arus lebih yang digunakan pada sisitem kelistrikan di PT Wilmar Nabati Indonesia adalah rele digital jenis sepam. Sepam adalah produk dari Merlin Gerlin, salah satu anak perusahaan Schneider Electric. Jenis rele sepam yang digunakan adalah seri 20, yaitu sepam T-20. Dan sepam seri 40, yaitu sepam S-42.

Sepam T-20 adalah pengaman trafo, sedangkan sepam S-42 adalah seri sepam untuk pengaman susbstation. Untuk tegangan menengah, rele arus ebih yang digunakan dilengkapi dengan *sulfur Hexaflouride Circuit Breaker* (SF6 CB). SF6 CB ini dapat memadamkan busur api dalam rentang 3 Cycle atau sekitar 60 milisecond untuk sistem kelistrikan dengan frekuensi 50 Hz.



Gambar 3.2 Sepam seri 20



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA

### 4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Wilmar

Pada pemodelan sistem kelistrikan di Wilmar ini menggunakan software ETAP 7.5. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah analisa yang akan dilakukan. Setelah pemodelan telah dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi analisa aliran daya (*load flow*). Simulasi hubung singkat minimum 30 cycle dan hubung singkat maksimum  $\frac{1}{2}$  cycle.

Untuk analisa, diambil tiga typical yang terkait dengan perubahan yang ada di PT Wilmar Nabati Indonesia – Gresik, ketiga typical koordinasi dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.1.

#### Tipikal 1 :

Analisa koordinasi rele pengaman mulai dari Bus 34 hingga Bus 16 PP2. Bus 34 merupakan unit Methyl Ester sulfur (*MES*). Terdapat enam buah rele dan satu circuit breaker yang akan di setel, typical ini juga terdapat double feeder.

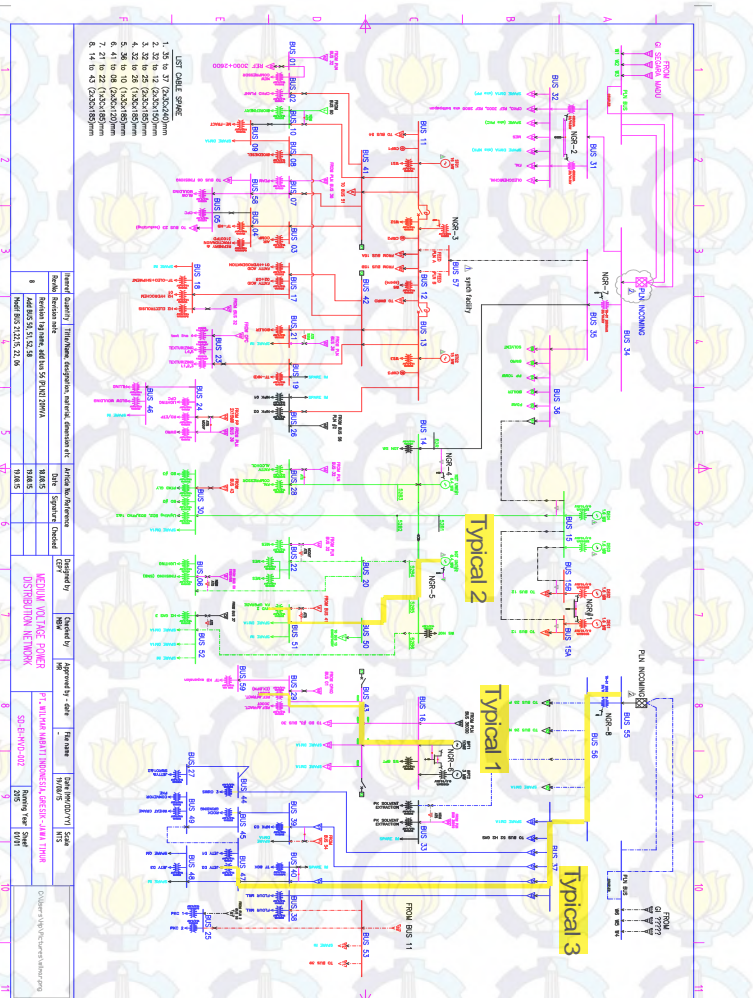
#### Tipikal 2 :

Analisa koordinasi rele pengamannya dimulai dari Bus199 sampai ke generator 6,4 MW. Terdapat 4 buah rele arus dan satu buah circuit breaker yang akan di setting.

#### Tipikal 3 :

Ini merupakan jalur baru PLN2 dengan kontrak daya sebesar 25MVA. Koordinasi nya mulai dari Bus197 hingga Bus 55 PLN2. Bus197 adalah Dermaga 2 yang baru saja di bangun. Pada typical ini terdapat sekitar enam buah rele arus yang akan disetting dan satu circuit breaker.





Gambar 4.1. Typical Koordinasi

## 4.2 Analisa Gangguan Hubung Singkat

Analisa hubung singkat yang dilakukan adalah analisa hubung singkat minimum  $\frac{1}{2}$  Cycle dan analisa hubung singkat maksimum 4 Cycle. Besar arus yang di dapat dari arus gangguan hubung singkat ini digunakan untuk mensetting rele arus lebih. Baik hubung singkat minimum ataupun maksimum semua pembangkit dan PLN mensuplai semua.

### 4.2.1. Hubung singkat minimum 30 Cycle

Hubung singkat minimum yang digunakan ini adalah hubung singkat L-L 30 Cycle dan menggunakan software Etap 7.5. Nilai arus hubung singkat minimum ini digunakan sebagai acuan untuk mensetting nilai pickup arus lebih instan. Diharapkan meski dengan arus gangguan minimum, rele pengaman ini dapat bekerja secepat mungkin. Berikut diperoleh gangguan hubung singkat minimum 30 Cycle.

**Tabel 4.1** Data Hubung singkat minimum 30 Cycle

No	Bus ID	Tegangan	Arus HS minimum 30 Cycle L-L
1	Bus197	0.4 kV	4,94 kA
2	Bus 47	10.5 kV	0,394 kA
3	Bus 40	10.5 kV	0,395 kA
4	Bus037	10.5 kV	0,395 kA
5	Bus 56	10.5 kV	0,395 kA
6	Bus 55 PLN2	20 kV	0,224 kA
7	Bus34	0.4 kV	72,64 kA
8	Bus 29	10.5 kV	14,84 kA
9	Bus 43	10.5 kV	15,03 kA
10	Bus 16 PP2	10.5 kV	15,07 kA
11	Bus199	0.4 kV	15,98 kA
12	Bus 51	10.5 kV	14,82 kA
13	Bus 50	10.5 kV	15,98 kA
14	Bus 8 NGT2	10.5 kV	15,07 kA

#### 4.2.2. Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle

Pada simulasi, digunakan Hubung singkat maksimum 4 Cycle 3 phase. Arus hubung singkat maksimum 4 Cycle ini digunakan sebagai batasan maksimal rele arus lebih intant. Berikut diperoleh gangguan hubung singkat minimum 30 Cycle. Tabel 4.3.

**Tabel 4.2** Data Hubung singkat maksimum 4 Cycle

No	Bus ID	Tegangan	Arus HS maksimum 4 Cycle 3 Phase
1	Bus197	0.4 kV	10,38 kA
2	Bus 47	10.5 kV	2,88 kA
3	Bus 40	10.5 kV	2,9 kA
4	Bus037	10.5 kV	2,91 kA
5	Bus 56	10.5 kV	2,91 kA
6	Bus 55 PLN2	20 kV	1,44 kA
7	Bus34	0,4 kV	98,01 kA
8	Bus 29	10.5 kV	26,01 kA
9	Bus 43	10.5 kV	26,51 kA
10	Bus 16 PP2	10.5 kV	26,61 kA
11	Bus199	0,4 kV	46,11 kA
12	Bus 51	10.5 kV	25,95 kA
13	Bus 50	10.5 kV	26,37 kA
14	Bus 8 NGT2	10.5 kV	26,61 kA

#### 4.3. Koordinasi Rele Pengaman

Koordinasi rele pengaman mempunyai arti mengkoordinasikan setelan arus dan setelan waktu tunda (*time delay*) pada masing masing rele pengaman. Rele yang paling dekat dengan gangguan harus beroperasi terlebih dahulu, bila rele proteksi utama mengalami kegagalan beroperasi, haruslah cepat di atasi dengan rele proteksi



cadangan. Hal ini bertujuan untuk melindungi peralatan supaya terlindung dari kerusakan akibat mengalirnya arus gangguan yang terlalu besar dan juga untuk meminimalkan daerah yang terkena pemutusan aliran daya agar tidak merambat ke daerah lain. Di dalam koordinasi rele pengaman, digunakan prinsip :

- a. Peralatan pada sisi beban harus menghilangkan gangguan tetap atau sementara sebelum peralatan sisi sumber memutus rangkaian.
- b. Kerusakan yang disebabkan oleh gangguan harus dibatasi.

Dengan prinsip diatas, maka urutan kerja peralatan pengaman sepanjang saluran dari sumber sampai ke beban harus benar benar diperhatikan agar kerusakan peralatan dan jaringan bisa di minimalis.

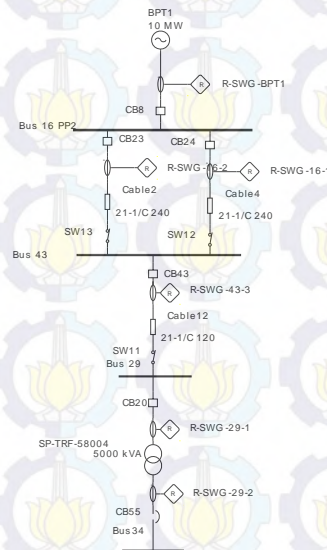
Untuk mengkoordinasikan rele rele pengaman, harus terlebih dahulu mengetahui nilai arus nominal dan arus gangguan hubung singkat pada peralatan yang perlu diamankan. Setelah nya baru kita dapat menentukan berapa arus yang akan di setting agar tidak merusak peralatan.

#### **4.4. Perhitungan Koordinasi Rele Pengaman**

Sebelum melakukan perhitungan, data data peralatan harus lah lengkap, antara lain data generator, data trafo, data beban motor, data dari lump. Data terebut untuk mengetahui nilai arus nominal, arus hubung singkat minimum dan maksimum. Selain itu juga diperlukan data rele trafo, meliputi jenis rele, Ratio CT dan kurva rele. Setelah data tersebut di dapat semua, barulah dilakukan perhitungan untuk setting dan koordinasi dari rele pengaman.



#### 4.4.1 Perhitungan Rele dan Anilisa Koordinasi Tipikal 1 (10MW)



**Gambar 4.2 Typical Koordinasi 1**

##### **R-SWG-29-2**

*Manufacture* = Merlin Gerlin  
*Model* = Sepam 20  
*Curve Type* = Standart Inverse Time (SIT)  
*CT Ratio* = 7500 / 5

##### *Time overcurrent Pickup*

$1,2 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus34}$   
 $1,2 (7217) < I_{\text{set}} < 0,8 (72,64 \times 1000)$   
 Dipilih Iset = 8600

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CTRatio} = \frac{8600}{7500} = 1,1467$$

Time dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,2

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,2 \times 2,97 \times \left( \frac{58115}{7500} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,16527$$

Instantaneous

$I_{set} > 0,8 \text{ Isc min Bus34}$

$I_{set} > 0,8 \times 72,64 \times 1000$

$I_{set} > 58112$

$I_{set} = 58115$

Tap = 7,7486

Delay(s) = 0.14

### R-SWG-29-1

Manufacture = Merlin Gerlin

Model = Sepam 20

Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)

CT Ratio = 300 / 5

Time overcurrent Pickup

$1,2 \times \text{FLA} < I_{set} < 0,8 \text{ Isc min Bus34}$

$1,2 (274,9) < I_{set} < 0,8 (71,13 \times 1000)$

Dipilih  $I_{set} = 360$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CTR_{ratio}} = \frac{360}{300} = 1,2$$

Time dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,2 \times 2,97 \times \left( \frac{4668}{360} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,334$$

Instantaneous

Isc max Bus 34 (HV) < Iset < 0,8 Isc min Bus34

1,25 x (98.01 x 1000 x 0,4/10,5) < Iset < 0,8 x 71,13 x 1000

4651,43 < Iset < 56904

I set = 4668

Tap = 15,56

Delay(s) = 0.14

### **R-SWG-43-3**

Manufacture = Merlin Gerlin

Model = Sepam 20

Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)

CT Ratio = 400 / 5

Time overcurrent Pickup

1,2 x FLA < I set < 0,8 Isc min Bus 29

1,2 (359.1) < Iset < 0,8 ( 14.75 x 1000 )

Dipilih Iset = 440

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CTR_{ratio}} = \frac{440}{400} = 1,1$$

Time dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 + 0,2 = 0,5

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left( \frac{5835}{440} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,562818$$

Instantaneous

1,25 x Instantaneous R-SWG-29-1 < Iset < 0,8 Isc min Bus 43

1,25 x 4668 < Iset < 0,8 x 15,03 x 1000

5835 < Iset < 12024

I set = 5836

Tap = 14,59

Delay(s) = 0,34

### **R-SWG-16-1**

Manufacture = Merlin Gerlin

Model = Sepam 20

Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)

CT Ratio = 500 / 5

Time overcurrent Pickup

1,2 x FLA Double feeder < I set < 0,8 Isc min Bus 29

1,2 (358,4) < Iset < 0,8 (x 1000 )

Dipilih Iset = 430,08



$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CTR_{Ratio}} = \frac{530}{500} = 0,87$$

Time dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) =  $0,5 + 0,2 = 0,7$

$$T = \frac{t_d \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left( \frac{3648}{530} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,584$$

Instantaneous

$1,25 \times \text{Instantaneous R-SWG-29-1} < I_{set} < 0,8 \text{ Isc min Bus 43}$

$1,25 \times 5836/2 < I_{set} < 0,8 \times 15,45 \times 1000$

$3647,5 < I_{set} < 12360$

$I_{set} = 3648$

$\text{Tap} = 7,296$

$\text{Delay(s)} = 0,54$

### **R-SWG-16-2**

Pengaturan rele R-SWG-16-2 adalah disamakan dengan rele R-SWG16-1, karena mempunyai CT, kabel dan load flow yang sama.

### **R-SWG-BPT1**

*Manufacture* = *Merlin Gerlin*

*Model* = *Sepam 20*

*Curve Type* = *Standart Inverse Time (SIT)*

*CT Ratio* =  $650 / 5$

Time overcurrent Pickup

$1,2 \times \text{FLA} < I_{set} < 0,8 \text{ Isc min Bus 16 PP2}$

$$1,2 (646,9) < I_{set} < 0,8 (26,61 \times 1000)$$

$$776,28 < I_{set} < 12056$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 780$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CTRatio} = \frac{780}{650} = 1,2$$

Time dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (td)} = 0,7 + 0,2 = 0,9$$

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,9 \times 2,97 \times \left( \frac{9125}{780} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,962$$

Instantaneous

$$1,25 \times 2 \times \text{Instantaneous R-SWG-16-1} < I_{set} < 0,8 \text{ Isc min Bus 16 PP2}$$

$$1,25 \times 2 \times 3648 < I_{set} < 0,8 \times 15,07 \times 1000$$

$$9120 < I_{set} < 12056$$

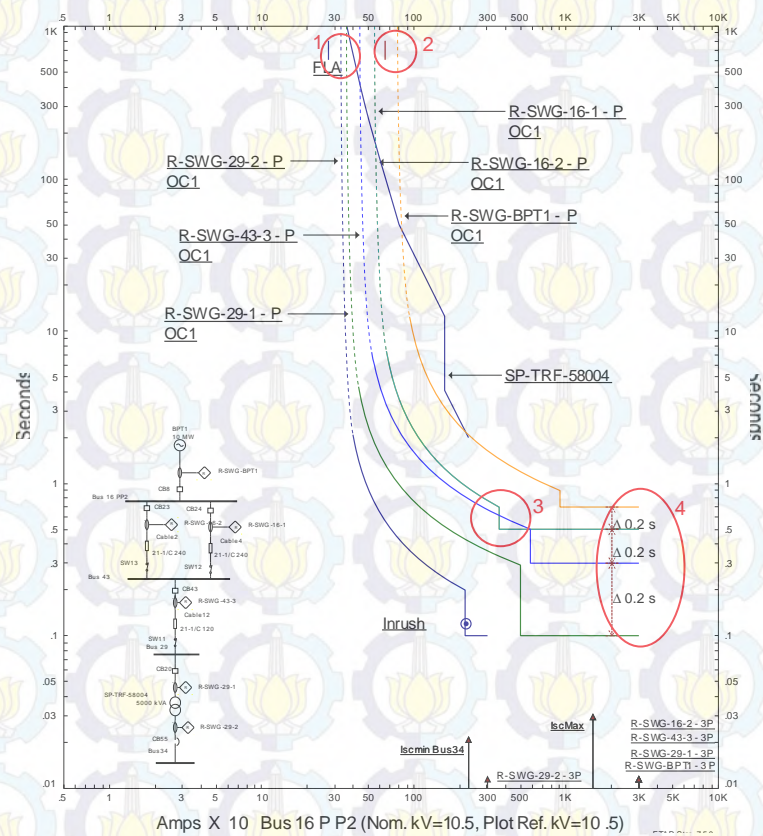
$$I_{set} = 9125$$

$$\text{Tap} = 14,038$$

$$\text{Delay(s)} = 0,74$$

Berikut adalah hasil plot perhitungan setelan rele koordinasi Typical 1

Amps X 10 Bus 16 P P2 (Nom. kV=10.5, Plot Ref. kV=10.5)



**Gambar 4.3** Hasil plot Koordinasi rele Typical 1

Gambar 4.3. adalah kurva koordinasi rele pada typical 1 (10 MW) yang telah di hitung. Terdapat 6 buah rele yaitu R-SWG-29-2, R-SWG-



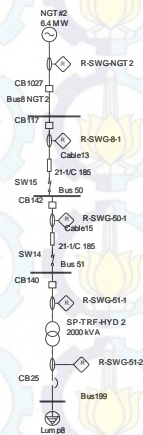
29-1, R-SWG-43-3, R-SWG-16-1, R-SWG-16-2, R-SWG-BPT1. Rele arus lebih yang pertama adalah R-SWG-29-2. Rele ini berfungsi sebagai pengaman trafo SP-TRF-58004 bila terjadi gangguan hubung singkat di Bus34. Selanjutnya adalah R-SWG-29-1, Rele ini sebagai pengaman Bus 29 juga sebagai backup R-SWG-29-2 ketika gagal mengamankan gangguan. Rele R-SWG-43-3 untuk melindungi Bus 43 bila terjadi gangguan hubung singkat di bus bus di bawahnya, selain itu juga menjadi backup rele R-SWG-29-2 dan rele R-SWG-29-1 apabila rele tersebut gagal melakukan pengaman ketika terjadi gangguan hubung singkat. Selain itu terdapat rele R-SWG-16-1, R-SWG-16-2 yang mempunyai setelan dan fungsi yang sama. Yaitu sebagai pengaman Bus 16 PP2 dan sebagai backup dari rele rele yang ada di bawahnya jika gagal memutus gangguan. Yang terakhir adalah rele R-SWG-BPT1 berfungsi sebagai pengaman generator BPT1 dan juga sebagai backup ketika semua rele dibawahnya gagal mengamankan gangguan.

1. Tanda lingkaran pertama, setelan rele R-SWG-29-2 dan rele R-SWG-29-1 berada di sebelah kanan trafo SP-TRF-58004 artinya setelan rele ini berada di atas arus full load trafo sehingga meskipun arus yang mengalir mencapai batas maksimum trafo, rele ini tidak akan trip. R-SWG-29-2 dan rele R-SWG-29-1 ini hanya akan trip bila arus yang melalui nya telah melebihi dari batasan arus yang telah di setting pada rele tersebut
2. Rele R-SWG-BPT1 juga berada di sebelah kanan dari FLA generator, setelan ini juga sudah benar karena rele ini tidak akan trip meskipun generator telah bekerja berada di atas arus FLA nya.
3. Tanda lingkaran Merah yang ketiga, sekilas dilihat rele R-SWG-16-1 dan R-SWG-2 menyentuh rele. Hal ini karena ketika terjadi gangguan hubung singkat yang mengalir juga terbagi

menjadi dua pada masing masing feeder. Oleh sebab itu setelan untuk High set nya dibagi dua. Tetapi pada setelan pickup nya rele ini masih pada arus full load double feeder sebab rele ini tidak boleh trip bila ke salah satu feeder saja yang menanggung semua arus yang mengalir ke beban karena feeder yang lain mengalami gangguan. Sehingga setelan ini sudah benar

4. Tanda lingkaran Merah yang kedua, gradient time antara rele satu dengan yang lainnya sebesar 0,2 detik. Ini sesuai dengan standart IEEE 242, dimana rele digital berbasis Microprosesor, overtravel time dapat diabaikan, sehingga total waktu 0,2 – 0,4 detik.

#### 4.4.2 Perhitungan Rele dan Anilisa Koordinasi Tipikal 2 (NGT#2)



Gambar 4.4 Typical Koordinasi 2

### R-SWG-51-2

Manufacture = Merlin Gerlin  
Model = Sepam 20  
Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)  
CT Ratio =  $3000 / 5$

#### Time overcurrent Pickup

$$1,2 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus199}$$

$$1,2 (2887) < I_{\text{set}} < 0,8 (34,23 \times 1000)$$

$$3464 < I_{\text{set}} < 27384$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 3470$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{3470}{3000} = 1,156$$

#### Time dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (td)} = 0,2$$

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,2 \times 2,97 \times \left( \frac{28700}{3470} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,183$$

#### Instantaneous

$$I_{\text{set}} > 0,8 \text{ Isc min Bus199}$$

$$I_{\text{set}} > 0,8 \times 35,83 \times 1000$$

$$I_{\text{set}} > 28664$$

$$I_{\text{set}} = 28700$$

$$\text{Tap} = 9,567$$

$$\text{Delay(s)} = 0,14$$



**R-SWG-51-1**

Manufacture = Merlin Gerlin  
 Model = Sepam 20  
 Curve Type = Standard Inverse Time (SIT)  
 CT Ratio = 150 / 5

**Time overcurrent Pickup**

$$1,2 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 51}$$

$$1,2 (110) < I_{\text{set}} < 0,8 (14,82 \times 1000)$$

$$132 < I_{\text{set}} < 12168$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 165$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{150}{165} = 1$$

**Time dial**

$$\text{Dipilih waktu operasi (td)} = 0,2 + 0,2 = 0,4 \text{ s}$$

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,4 \times 2,97 \times \left( \frac{2196}{165} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,225$$

**Instantaneous**

$$\text{Isc max Bus199 (HV)} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 51}$$

$$1,25 \times 44,11 \times 1000 \times 0,4/10,5 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 15,21 \times 1000$$

$$2115, 24 < I_{\text{set}} < 11856$$

$$I_{\text{set}} = 2196$$

$$\text{Tap} = 14,6381$$

$$\text{Delay(s)} = 0.14$$

**R-SWG-50-1**

Manufacture = Merlin Gerlin  
 Model = Sepam 20  
 Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)  
 CT Ratio = 150/ 5

Time overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,2 \times \text{FLA} &< I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 51} \\
 1,2 (85,3) &< I_{\text{set}} < 0,8 (15,21 \times 1000) \\
 102,36 &< I_{\text{set}} < 12168
 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 200

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{200}{150} = 1,33$$

Time dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 + 0,2 = 0,5 s

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left( \frac{2644}{200} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,562$$

Instantaneous

$$\begin{aligned}
 1,25 \times \text{Instantaneous R-SWG-51-1} &< I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 50} \\
 1,25 \times 2196 &< I_{\text{set}} < 0,8 \times 15,98 \times 1000 \\
 2745 &< I_{\text{set}} < 12784
 \end{aligned}$$

I set = 2745

Tap = 18,3

Delay(s) = 0.34

**R-SWG-8-1**

Manufacture = Merlin Gerlin  
 Model = Sepam 20

Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)  
 CT Ratio = 300/ 5

Time overcurrent Pickup

$1,2 \times FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc} \text{ min Bus 50}$

$1,2 (299,2) < I_{set} < 0,8 (15,38 \times 1000)$

Dipilih Iset = 360

Tap =  $\frac{I_{set}}{CTRatio} = \frac{360}{300} = 1,2$

Time dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,5 + 0,3 = 0,8

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,8 \times 2,97 \times \left( \frac{3432}{360} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

T = 0,769

Instantaneous

$1,25 \times \text{Instantaneous R-SWG-50-1} < I_{set} < 0,8 I_{sc} \text{ min Bus 8 NGT2}$

$1,25 \times 2745 < I_{set} < 0,8 \times 15,07 \times 1000$

$3431,25 < I_{set} < 12056$

I set = 3432

Tap = 11,44

Delay(s) = 0.54

**R-SWG-NGT-2**

Manufacture = Merlin Gerlin

Model = Sepam 20

Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)

CT Ratio = 600/ 5

Time overcurrent Pickup

$$1,2 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 50}$$

$$1,2 (576,9) < I_{\text{set}} < 0,8 (15,48 \times 1000)$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 692,28$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{692,28}{600} = 1,1538$$

Time dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (td)} = 0,8 + 0,18 = 0,98$$

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,98 \times 2,97 \times \left( \frac{12100}{692,28} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 1,514$$

Instantaneous

$$I_{\text{set}} > 0,8 \times \text{Isc min Bus 8 NGT2}$$

$$I_{\text{set}} > 0,8 \times 15,07 \times 1000$$

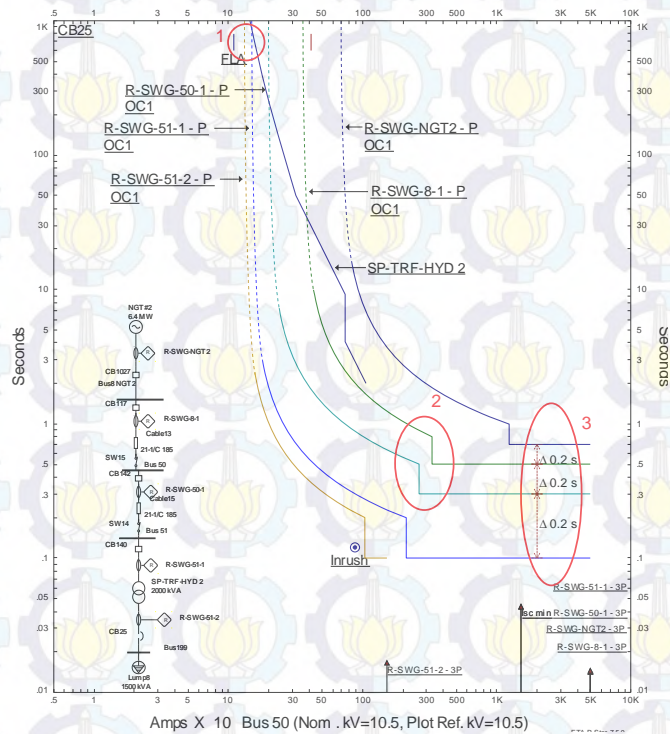
$$I_{\text{set}} = 12100$$

$$\text{Tap} = 20,167$$

$$\text{Delay(s)} = 0,74$$



Berikut adalah hasil perhitungan kurva Koordinasi rele Typical 2  
Amps X 10 Bus 50 (Nom . kV=10.5, Plot Ref. kV=10.5)



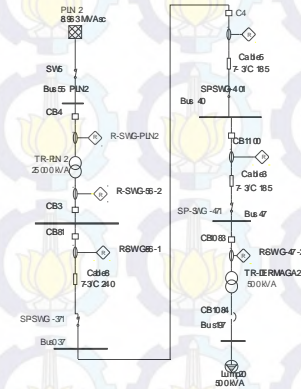
**Gambar 4.5** Hasil plot Koordinasi rele Typical 2

Pada gambar 4.4.2.2 adalah kurva koordinasi typical 2 yang mempunyai 5 buah rele, yaitu R-SWG-51-2, R-SWG-51-1, R-SWG-50-1, R-SWG-8-1, R-SWG-NGT2. Yang pertama adalah rele R-SWG-51-2

sebagai pengaman trafo SP-TRF – HYD2. Selanjutnya adalah rele R-SWG-51-1 yang mempunyai fungsi selain sebagai pelindung dari Bus 51 juga sebagai backup dari rele R-SWG-51-2 jika gagal mengamankan gangguan. Rele R-SWG-50-1 dan R-SWG-8-1 juga adalah rele arus yang mempunyai fungsi sama seperti diatas. Terakhir adalah rele R-SWG-NGT2. Ini adalah rele pengaman terakhir yang mempunyai fungsi untuk mengamankan generator dan sebagai backup paling akhir bila peralatan pengaman yang ada di bawahnya telah gagal mengamankan gangguan.

1. Tanda lingkaran merah pertama menunjukkan rele R-SWG-51 dan rele R-SWG-52 berada di sebelah kanan dari FLA trafo SP-TRF-HYD2. Sehingga meskipun arus yang melalui rele R-SWG-51 dan rele R-SWG-52 mencapai batas maksimum trafo SP-TRF-HYD2 tidak akan trip, karena sudah di setting 1.2 dari arus full load trafo.
2. Tanda lingkaran Merah pertama menunjukkan setelan rele koordinasinya tidak ada yang overlap dan miss coordination, sehingga setelan rele ini sudah betul
3. Gradien time antara rele adalah sebesar 0.2 detik. Setelan ini juga sudah benar karena sesuai dengan standart IEEE dimana rele digital berbasis Microprosesor, overtravel time dapat diabaikan, sehingga total waktu 0,2 – 0,4 detik. Dan dipastikan juga bahwa dengan gradient 0,2 tidak akan trip secara bersamaan apabila terjadi gangguan hubung singkat.

#### 4.4.3 Perhitungan Rele dan Anilisa Koordinasi Tipikal 3 (PLN2)



Gambar 4.6 Typical Koordinasi 3

##### CB – 1084

Manufacture = ABB  
 Model = SACE PR112  
 Trip device trip = Solid State Trip  
 Sensor ID = 1200  
 FLA = 721,7

##### Longtime

$I_{set} < 1,2 \times FLA$   
 $I_{set} < 1,2 \times (721,7)$   
 $I_{set} < 866,04$   
 $I_{set} = 866$   
 Tap = 0,866

##### Short time

$I_{set} < 1,25 \times I_{sc \text{ min Bus197}}$   
 $I_{set} < 1,25 \times 9,16 \times 1000$

$I_{set} < 6175$   
 $I_{set} = 600$   
 $Tap = 0,6$

### **R-SWG-47-2**

*Manufacture* = Merlin Gerlin  
*Model* = Sepam 20  
*Curve Type* = Standart Inverse Time (SIT)  
*CT Ratio* = 50/5

#### **Time overcurrent Pickup**

$1,2 \times FLA < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min Bus 47}}$   
 $1,2 (27,49) < I_{set} < 0,8 (0,394 \times 1000)$

Dipilih  $I_{set} = 50$

$Tap = \frac{I_{set}}{CTRatio} = \frac{50}{50} = 1$

#### **Time dial**

Dipilih waktu operasi (td) = 0,2s

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,2 \times 2,97 \times \left( \frac{494}{50} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$T = 0,32$

#### **Instantaneous**

$I_{sc \text{ max Bus 197 (HV)}} < I_{set} < 0,8 I_{sc \text{ min Bus 47}}$   
 $1,25 \times 10,38 \times 1000 \times 0,4/10,5 < I_{set} < 0,8 \times 0,394 \times 1000$   
 $494,285 < I_{set} < 315,2$

$I_{set} = 494$

$Tap = 9,88$

$Delay(s) = 0,14$



**R-SWG-40-1**

Manufacture = Merlin Gerlin  
 Model = Sepam 20  
 Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)  
 CT Ratio = 100/ 5

**Time overcurrent Pickup**

$1,2 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 47}$

$1,2 (65,9) < I_{\text{set}} < 0,8 (0,394 \times 1000)$

$79,08 < I_{\text{set}} < 315,2$

Dipilih Iset = 100

Tap =  $\frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{100}{100} = 1$

**Time dial**

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 + 0,2 = 0,5

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left( \frac{600}{100} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

T = 0,33

**Instantaneous**

$1,25 \times \text{Instantaneous R-SWG-47-2} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 40}$

$1,25 \times 494 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 0,395 \times 1000$

$617,5 < I_{\text{set}} < 316$

I set = 600

Tap = 6

Delay(s) = 0.34

**R-SWG-37-1**

Manufacture = Merlin Gerlin

Model = Sepam 20  
 Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)  
 CT Ratio = 300/ 5  
 FLA = 258,7

Time overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,2 \times \text{FLA} &< I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 40} \\
 1,2 (258,7) &< I_{\text{set}} < 0,8 (0,395 \times 1000) \\
 310,44 &< I_{\text{set}} < 316
 \end{aligned}$$

Dipilih Iset = 312

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{312}{400} = 1.03$$

Time dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,5 + 0,2 = 0,7

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left( \frac{744}{312} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,33$$

Instantaneous

$$\begin{aligned}
 1,25 \times \text{Instantaneous R-SWG-40-1} &< I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 40} \\
 1,25 \times 600 &< I_{\text{set}} < 0,8 \times 0,395 \times 1000 \\
 750 &< I_{\text{set}} < 316
 \end{aligned}$$

$$I_{\text{set}} = 744$$

$$\text{Tap} = 2,48$$

$$\text{Delay(s)} = 0.54$$

R-SWG-56-1

Manufacture = Merlin Gerlin

Model = Sepam 20

Curve Type = Standart Inverse Time (SIT)

$$\begin{aligned}CT\ Ratio &= 600/5 \\FLA &= 586,5\end{aligned}$$

Time overcurrent Pickup

$$1,2 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc\ min\ Bus037}$$

$$1,2 (586,5) < I_{set} < 0,8 (0,395 \times 1000)$$

$$703,8 < I_{set} < 316$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 400$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CTRatio} = \frac{400}{600} = 0,667$$

Time dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (td)} = 0,7 + 0,2 = 0,9$$

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{highset}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,9 \times 2,97 \times \left( \frac{900}{400} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,42$$

Instantaneous

$$1,25 \times \text{Instantaneous R-SWG-37-1} < I_{set} < 0,8 I_{sc\ min\ Bus\ 56}$$

$$1,25 \times 744 < I_{set} < 0,8 \times 0,395 \times 1000$$

$$930 < I_{set} < 316$$

$$I_{set} = 900$$

$$\text{Tap} = 1,5$$

$$\text{Delay(s)} = 0,74$$

**R-SWG-56-2**

$$\text{Manufacture} = \text{Merlin Gerlin}$$

$$\text{Model} = \text{Sepam 20}$$

$$\text{Curve Type} = \text{Standart Inverse Time (SIT)}$$

$$CT\ Ratio = 1400/5$$

$$FLA = 1375$$

#### Time overcurrent Pickup

$$1,2 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 56}$$

$$1,2 \times 1375 < I_{\text{set}} < 0,8 (0,395 \times 1000)$$

$$1650 < I_{\text{set}} < 316$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 700$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{700}{1400} = 0,5$$

#### Time dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (td)} = 0,9 + 0,1 = 1$$

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{1 \times 2,97 \times \left( \frac{1120}{700} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,43$$

#### Instantaneous

$$1,25 \times \text{Instantaneous R-SWG-56-1} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 56}$$

$$1,25 \times 900 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 0,395 \times 1000$$

$$1125 < I_{\text{set}} < 316$$

$$I_{\text{set}} = 1120$$

$$\text{Tap} = 0,8$$

$$\text{Delay(s)} = 0,94$$

#### R-SWG-PLN2

$$\text{Manufacture} = \text{Merlin Gerlin}$$

$$\text{Model} = \text{Sepam 20}$$

$$\text{Curve Type} = \text{Standart Inverse Time (SIT)}$$

$$\text{CT Ratio} = 800/5$$

$$\text{FLA} = 721,7$$



Time overcurrent Pickup

$$1,2 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 56}$$

$$1,2 \times 721,7 < I_{\text{set}} < 0,8 (0,395 \times 1000)$$

$$866,04 < I_{\text{set}} < 316$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 400$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CTRatio}} = \frac{400}{800} = 0,53$$

Time dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (td)} = 0,3$$

$$T = \frac{td \times 2,97 \times \left( \frac{I_{\text{highset}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left( \frac{940}{400} \right)^{0,02} - 1}{0,14}$$

$$T = 0,109$$

Instantaneous

$$1,25 \times \text{Isc max Bus 56 (HV)} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ Isc min Bus 55 PLN2}$$

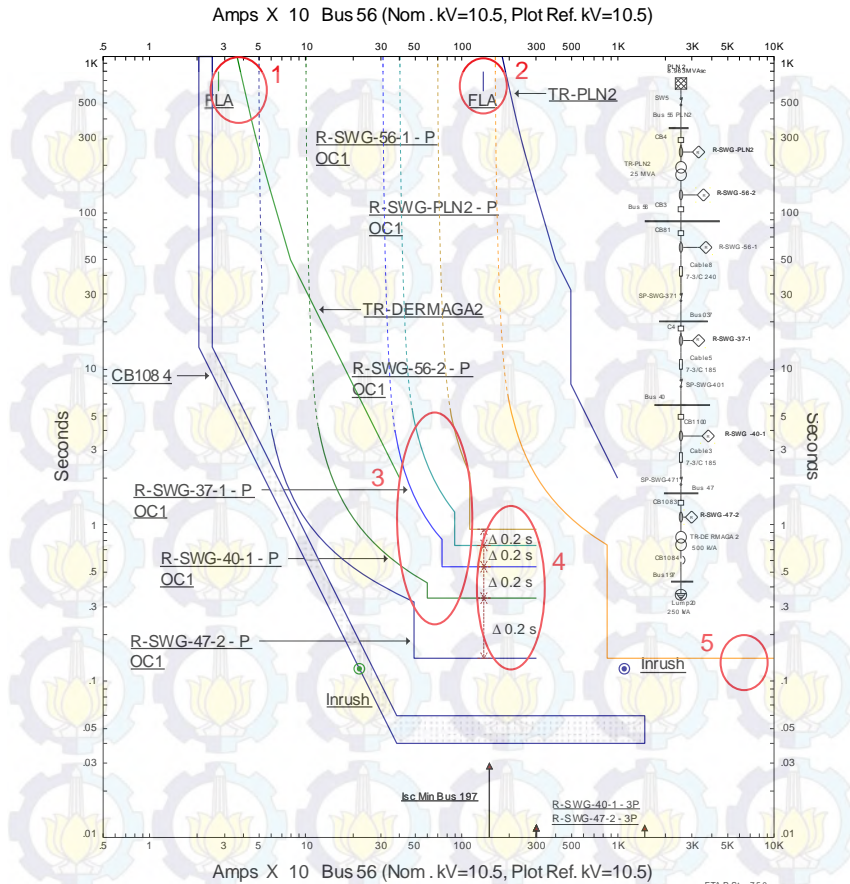
$$1,25 \times (1,44 \times 1000 \times 10,5/20) < I_{\text{set}} < 0,8 (0,224 \times 1000)$$

$$945 < I_{\text{set}} < 179,2$$

$$I_{\text{set}} = 940$$

$$\text{Tap} = 1,175$$

$$\text{Delay(s)} = 0,14$$



**Gambar 4.7** Hasil plot Koordinasi rele Typical 3

Pada koordinasi rele di Typical 3, terdapat 6 buah rele pengaman, yaitu R-SWG-47-2, R-SWG-40-1, R-SWG-37-1, R-SWG-56-1, R-SWG-56-2, R-SWG-PLN2. Rele R-SWG-47-2 adalah rele pengaman pertama untuk melindungi Bus 47 dan juga sebagai Backup apabila CB1084 gagal memutus arus akibat short circuit. Selanjutnya rele R-

SWG 40-1, R-SWG-37-1, R-SWG-56-1 mempunyai fungsi yang sama untuk tiap tiap Bus nya dan juga sebagai backup terhadap rele dibawahnya.

1. Setelan rele R-SWG-47-2 berada di sebelah kanan dari FLA trafo TR-Dermaga 2, sehingga meskipun arus yang melalui rel R-SWG-47-2 mencapai batas full load trafo, rele ini tidak akan trip.
2. Setelan rele R-SWG-56-2 dan R-SWG-PLN2 juga berada di sebelah kanan dari FLA trafo TR-PLN2, rele tidak akan trip meskipun arus yang melalui nya mencapai arus maksimum trafo.
3. Tidak ada overlap atau miss coordination antara rele ke satu dengan yang lainnya.
4. Gradient time tiap rele sudah sesuai yaitu sebesar 0,2 detik. Mengingat rele yang digunakan adalah rele berbasis Microprosesor dan CB nya adalah SF6. Hal itu berdasar pada Standart IEEE 242 bahwasanya untuk rele berbasis Microprosesor overtravel time rele nya dapat diabaikan. Berikut penjelasan dari IEEE 242.

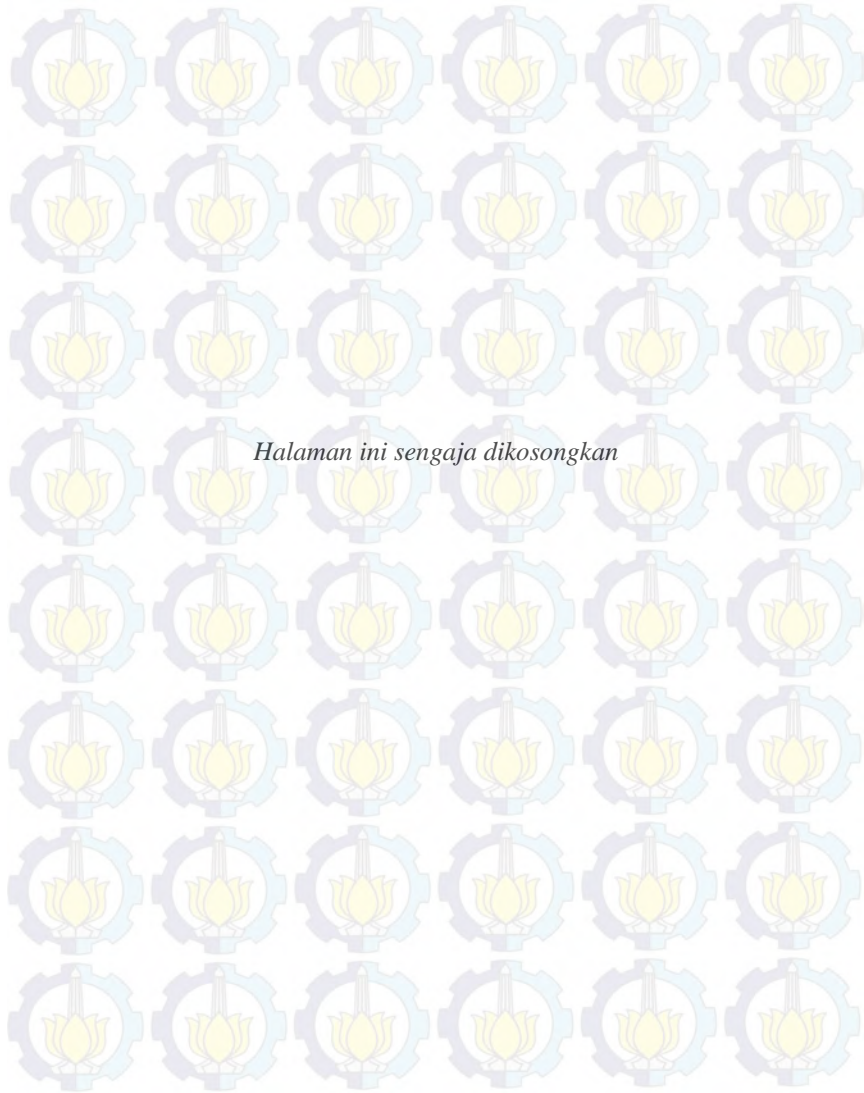
Overtravel rele	: 0,1 s
Waktu terbuka CB	: 0,04 – 0,1 s
Faktor keamanan	: 0,12 – 0,22 s
5. Setelan Instan Time delay dari rele R-SWG-PLN2 kembali lagi ke awal sebesar 0,2 karena sudah melewati trafo atau berada dilevel tegangan yang berbeda.

**Tabel 4.3** Tabulasi hasil plot setting rele arus lebih

Rele	Manuf acture	Rasio CT	Kurv a	Ta p	Time dial	Instan t	Time delay
R-SWG-29-2	Merlin Gerlin	7500 / 5	SIT	1,2	0,162	7,582	0,14 s
R-SWG-29-1	Merlin Gerlin	300/5	SIT	1,2	0,334	16,67	0,14 s
R-SWG-43-3	Merlin Gerlin	400/5	SIT	1,1	0,563	14,59	0,34 s
R-SWG-16-1	Merlin gerlin	500/5	SIT	1,0 6	0,584	7,296	0,54 s
R-SWG-16-2	Merlin gerlin	500/5	SIT	1,0 6	0,584	7,296	0,54 s
R-SWG-BPT1	Merlin Gerlin	650/5	SIT	1,2	0,961	14,03	0,74 s
R-SWG-51-2	Merlin Gerlin	3000/5	SIT	1,1 5	0,183	9	0,14 s
R-SWG-51-1	Merlin Gerlin	150/5	SIT	1,1	0,225	14,638 1	0,14 s
R-SWG-50-1	Merlin Gerlin	150/5	SIT	1,3 3	0,562	17,625	0,34 s
R-SWG-8-1	Merlin Gerlin	300/5	SIT	1,2	0,783	11,016	0,54 s
R-SWG-NGT2	Merlin Gerlin	600/5	SIT	1,5 14	1,25	20,167	0,74 s
R-SWG-47-2	Merlin Gerlin	50/5	SIT	1	0,32	9,88	0,14 s
R-SWG-40-1	Merlin Gerlin	100/5	SIT	1	0,33	6	0,34 s
R-SWG-47-1	Merlin Gerlin	300/5	SIT	1,0 4	0,3	2,48	0,54 s



Rele	Manufact ure	Rasio CT	Kurv a	Ta p	Time dial	Instan t	Time delay
R-SWG-56-1	Merlin Gerlin	600/5	SIT	0,6 67	0,42	1,5	0,74 s
R-SWG-56-2	Merlin Gerlin	1400/ 2	SIT	0,5	0,43	0,8	0,94 s
R-SWG-PLN2	Merlin Gerlin	800/5	SIT	1,0 75	0,53	5,6	0,14 s



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Setelah menganalisa dengan mengambil 3 Typical pada Sistem kelistrikan PT Wilmar Nabati Indonesia dapat disimpulkan beberapa point. Antara lain

1. Gradien time antar rele pada Typical 1, typical 2 dan typical 3 adalah sebesar 0,2 – 0,4 s.
2. Setting delay Instant maksimum pada typical 3 adalah sebesar 0,98 s atau kurang dari 1 s.
3. Setting delay Instant rele R-SWG-PLN2 pada typical 3 kembali di awal set atau sekitar 0,2 s.
4. Setelan pickup rele R-SWG-29-1 pada typical 1, rele R-SWG-51-1 pada typical 2, rele R-SWG-47-2 dan rele R-SWG-PLN2 berada di sebelah kanan, sehingga masih aman meski arus yang melewati rele tersebut mencapai arus full load trafo.
5. Pada typical 2 dan typical 3 Tidak ada overlap antar rele dan tidak ada miss coordination antara rele utama dengan rele cadangan.
6. Pada typical 1 Rele R-SWG-16-1 menyentuh R-SWG-43-3. Setelan ini sudah benar demikian, karena bila terjadi gangguan hubung singkat, arus yang mengalir juga terbagi menjadi dua pada masing masing feeder.

### **5.2 Saran**

Perlu kiranya dilakukan resetting terhadap semua rele yang ada di kelistrikan PT Wilmar Nabati Indonesia mengingat semakin bertambah nya jumlah pembangkit dan peningkatan kontrak daya PLN serta topology jaringan yang telah berbeda jauh dari sebelumnya ketika di dahulu telah di set di tahun 2011.



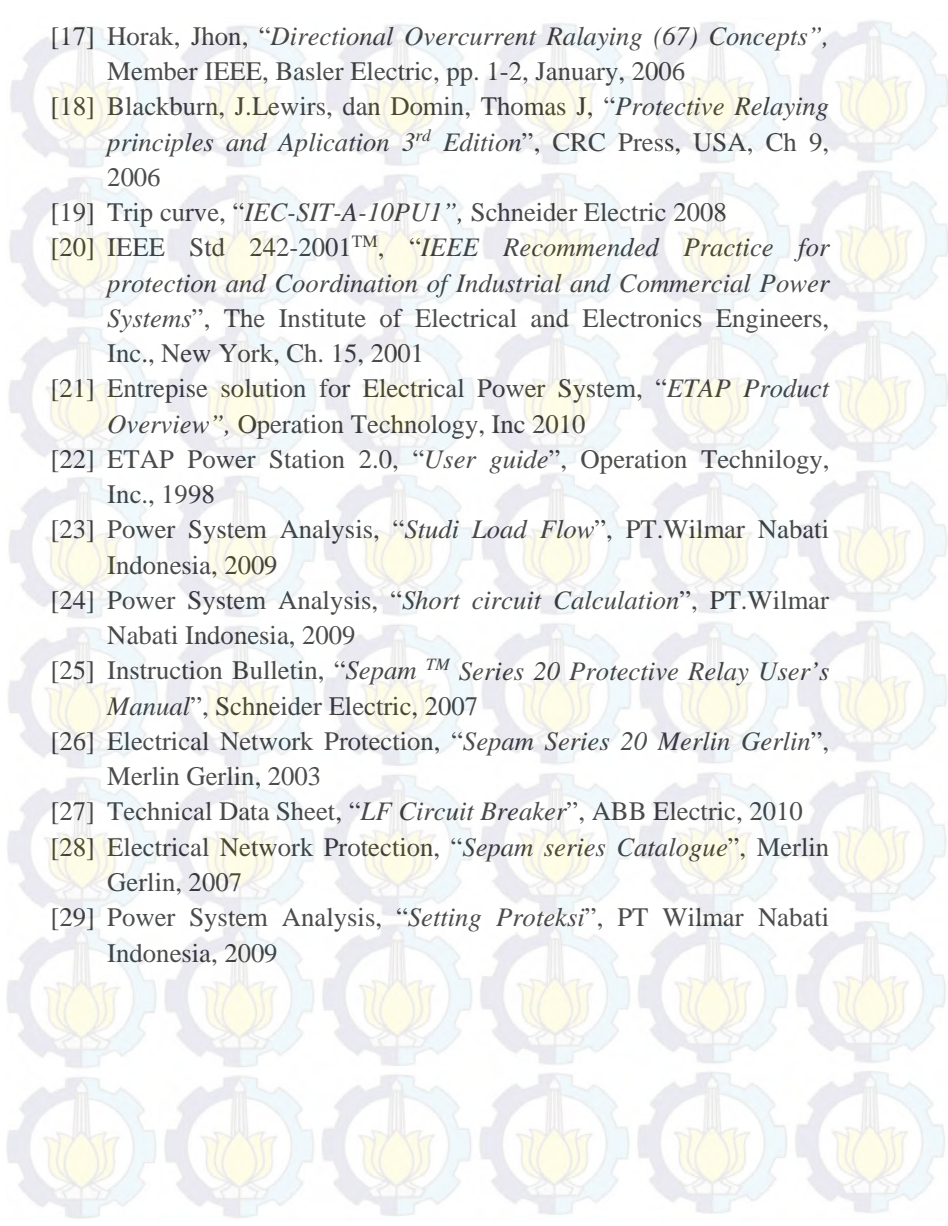


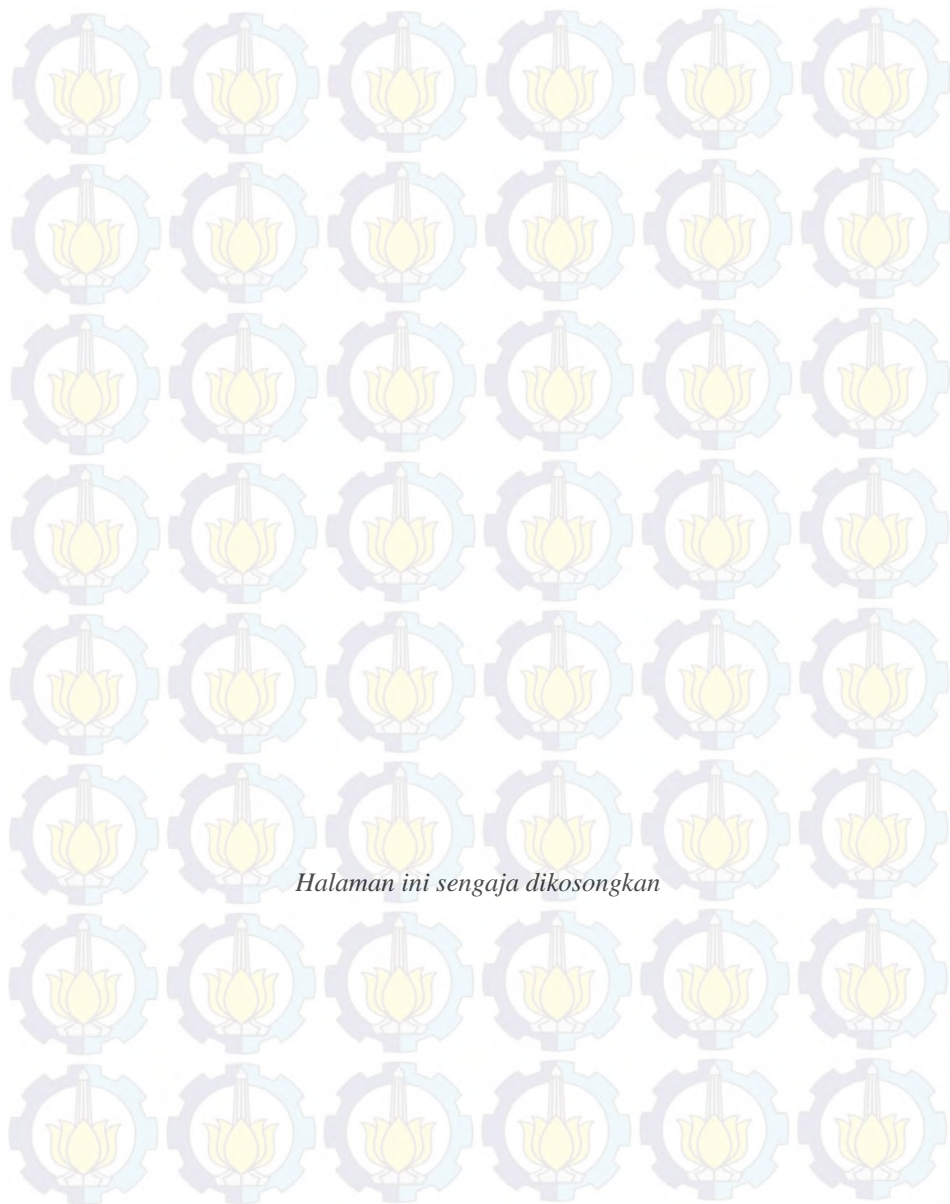




## DAFTAR PUSTAKA

- [1] SPLN 52-3 : 1983, "Pola pengamanan Sistem bagian tiga, Sistem Distribusi 6 kV dan 20kV", Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, Pasal 4, 1983
- [2] Penangsang, Ontoseno, *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Jilod 2*, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 1, 2006
- [3] Lazar, Irwin, "Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant", McGraw-Hill Inc., USA, Ch 1, 1980
- [4] Cahier Technique No. 158, "Calculation of short-circuit currents", Schneider Electric, 2005
- [5] Hewitson, L.G. (et al), "Practical Power Systems Protection", Hsevier Ltd., USA.1, 2004
- [6] Wahyudi, "Diktat kuliah pengamanan Sistem Tenaga Listrik", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004.
- [7] ALSTOM, "Network protection & Automation Guide", Levallois-Perret, France, Ch. 2, 2003
- [8] Anderson, P.M, "Power System Protection", John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch.3 1998
- [9] Phadke, Arun G, dan Thorp, James S, "Computer relaying for Power System", John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch. 2, 2009
- [10] Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., "Protection od Electrical Distribution Network 2<sup>nd</sup> Edition", The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004
- [11] Sleva, Anthony F., "Protection Relay Principles", CRC Press, USA, Ch.5, 2009
- [12] Preve, Christophe, "Protection of Electrical Networks", ISTE Ltd., London, Ch 7,9, 2006
- [13] Davies, T, "Protection of Industrial Power Systems 2<sup>nd</sup> Edition", Elsevier Ltd., USA, Ch. 5, 2006
- [14] Horowitz, Stanley H, dan Phadke, Arun G, "Power Sytem Relaying 3<sup>rd</sup> Edition", John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch. 4, 2008
- [15] Gurevich, Vladimir, "Electric Relays, Principle and Aplication", Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch.2, 1956
- [16] Masson, C. Russel, "The Art & Science of protective Relaying", John wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 2, 1956

- 
- [17] Horak, Jhon, “*Directional Overcurrent Relaying (67) Concepts*”, Member IEEE, Basler Electric, pp. 1-2, January, 2006
- [18] Blackburn, J.Lewirs, dan Domin, Thomas J, “*Protective Relaying principles and Application 3<sup>rd</sup> Edition*”, CRC Press, USA, Ch 9, 2006
- [19] Trip curve, “*IEC-SIT-A-10PUI*”, Schneider Electric 2008
- [20] IEEE Std 242-2001<sup>TM</sup>, “*IEEE Recommended Practice for protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [21] Entrepise solution for Electrical Power System, “*ETAP Product Overview*”, Operation Technology, Inc 2010
- [22] ETAP Power Station 2.0, “*User guide*”, Operation Technilogy, Inc., 1998
- [23] Power System Analysis, “*Studi Load Flow*”, PT.Wilmar Nabati Indonesia, 2009
- [24] Power System Analysis, “*Short circuit Calculation*”, PT.Wilmar Nabati Indonesia, 2009
- [25] Instruction Bulletin, “*Sepam<sup>TM</sup> Series 20 Protective Relay User’s Manual*”, Schneider Electric, 2007
- [26] Electrical Network Protection, “*Sepam Series 20 Merlin Gerlin*”, Merlin Gerlin, 2003
- [27] Technical Data Sheet, “*LF Circuit Breaker*”, ABB Electric, 2010
- [28] Electrical Network Protection, “*Sepam series Catalogue*”, Merlin Gerlin, 2007
- [29] Power System Analysis, “*Setting Proteksi*”, PT Wilmar Nabati Indonesia, 2009





## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Fahmi Rusdi , terlahir di Surabaya pada tanggal 28 Juli 1986 adalah putra ke 4 dari 7 Bersaudara . di tahun 2005 baru lulus dari SMAN 19 Sby kemudian 2006 di lanjutkan kuliah di Jurusan D3 Elektronika PENS – ITS. Di samping melanjutkan studi sarjana melalui program lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro (FTI-ITS), saat ini sedang bekerja di PT Wilmar Nabati Indonesia – Gresik di Unit Flour mills sebagai Electrican Engineer. Penulis dapat dihubungi di email [fahmirus28@gmail.com](mailto:fahmirus28@gmail.com)

